

**DIE GESCHICHTE DER
PHYSIK
IN GRUNDZÜGEN**

von

**DR. FERD. ROSENBERGER
ERSTER TEIL**

**GESCHICHTE DER PHYSIK IM
ALTERTUM UND IM MITTELALTER**
BRAUNSCHWEIG, VIEWEG UND SOHN 1882

Ф. РОЗЕНБЕРГЕР

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

Перевод с немецкого под ред. И. СЕЧЕНОВА
ВНОВЬ ПРОВЕРЕННЫЙ И ПЕРЕРАБОТАННЫЙ В. С. ГОХМАНОМ

Предисловие С. Ф. ВАСИЛЬЕВА

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

**ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В ДРЕВНОСТИ И
В СРЕДНИЕ ВЕКА**

О НТИ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА— 1934—ЛЕНИНГРАД**

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие С. Ф. Васильева	5
Предисловие автора к немецкому изданию	28
I. История физики древних веков (приблизительно от 600 до н. э. до 700 н. э.)	31
1. Физика как чистая натуральная философия (приблизительно от 600 до 300 до н. э.)	33
2. Период математической физики (приблизительно от 300 до н. э. до 150 н. э.)	51
3. Период упадка древней физики (от 150 до 700 н. э.)	72
II. История физики в средние века (от 700 до 1600 н. э.)	78
1. Период арабской физики (от 700 до 1150 н. э.)	78
2. Христианский период средневековой физики (от 1150 до 1500)	96
3. Переходный период средневековой физики (от 1500 до 1600)	115
Именной указатель	145
Предметный указатель	147

ПРЕДИСЛОВИЕ

Работа Розенберга, первый том которой предлагается вниманию читателя, представляет собою одно из наиболее серьезных и капитальных *общих* исследований истории эволюции физики, имеющих в международной литературе. По этой книге можно до известной степени судить о том, какого теоретического уровня достигла физическая историография к концу XIX века, ибо из общих работ исследование Розенберга, несомненно, является наилучшим. Оживление интереса к истории физических учений, вызванное теми ожесточенными спорами и напряженной философской борьбой, которые начались в самом конце XIX и начале XX века и которые явились выражением начала глубокого методологического кризиса физических наук, столь обстоятельно разобранного Лениным, имело своим результатом появление целого ряда других исследований, глубина и тщательность которых значительно превзошли то, что было достигнуто Розенбергом. Однако все эти новейшие работы носили слишком специальный характер и не давали общей, синтетической картины развития физики. Кроме того, будучи продиктованы определенными теоретическими побуждениями, они носили на себе слишком явственную печать специфических философских и политических установок своих авторов, чтобы их можно было признать продуктами беспристрастного исторического исследования, а не развернутыми аргументами (зачастую весьма тенденциозными) в философской борьбе¹. Конечно, читателю, знакомому с этой литературой, многие страницы книги Розенберга покажутся поверхностными и анемичными. К тому же часть материала, приводимого немецким автором, значительно устарела (что, конечно, совершенно естественно для произведения, написанного более 40 лет назад). Наконец, читатель почувствует сильную неудовлетворенность и из-за того, что изложение доведено автором только до 80-х годов XIX в. За последние десятилетия в физике произошло так много

¹ Мы имеем в виду, главным образом, исследования Маха (Mechanik, Prinzipien der Wärmelehre, Prinzipien der Physikalischen Optik и др. менее важные работы вместе с многочисленными историческими экскурсами в философских работах) и обширные труды Дюгема (Evolution de la mecanique, Les origines de la statique, Le systéme du monde, La the'orie physique и др.), а также ряд специальных монографий, число которых, особенно во французской и немецкой литературе, было очень велико.

6 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

перемен и сдвигов, что факты, на которых останавливает свое изложение Розенбергер, в наше время кажутся действительно седыми. Читатель, естественно, будет желать конца, покрытого меньшим слоем исторической пыли¹.

Однако повторяем, несмотря на все эти дефекты, книга Розенбергера пока является все же наилучшим сводным очерком истории развития физики от греков и до конца XIX века.

Конечно, читатель, прошедший школу марксизма и предъявляющий к историческому исследованию ряд требований, вытекающих из основных принципов теории исторического материализма, не будет удовлетворен работой Розенбергера ни в малейшей степени. Социологические концепции немецкого историка невероятно убоги (если только они вообще существуют как нечто оформленное). Что же касается его общефилософских позиций, то они слишком эклектичны и поверхностны, чтобы, пользуясь ими, действительно можно было написать произведение, делающее эпоху. Кто-то справедливо заметил недавно, что история естествознания, к сожалению, не только не имела еще своего Маркса, но ей не посчастливилось даже на Гегеля. И это, конечно, совершенно справедливо. Работа Розенбергера не составляет в данном случае «исключения».

Однако потребность в систематическом изучении истории физики настолько назрела и тяга широких кругов молодых советских физиков к изучению истории своей науки настолько велика, что мы решили, несмотря на все недостатки работы Розенбергера, предложить ее в новом издании. Мы остановились на книге Розенбергера именно потому, что она все же достаточно правильно намечает основные вехи исторической эволюции физики и может послужить относительно неплохим источником для первоначального ознакомления с основными историческими перипетиями физического мышления. Создание материалистической концепции истории физики еще—дело будущего. Поэтому пока приходится пользоваться работами наиболее объективных и добросовестных буржуазных историков.

Исследование Розенбергера выгодно отличается от большинства других сводных работ по общей истории физики уже тем, что оно написано все же с некоторой общей принципиальной точки зрения, а не представляет собою продукт безыдейного кропотливого и компиляторства, подобно, например, старой работе Поггендорфа² или совершенно каталогообразного перечня фактов, вроде той новейшей «Истории физики» которая помещена в одном из томов последнего капитального немецкого

¹ В качестве продолжения розенбергерской работы можно было бы назвать исследования наших современников, оперирующих фактами последних десятилетий. Здесь в первую голову следует назвать книгу Ланжевена «Физика за последние 20 лет», или менее глубокую, но более широко охватывающую материал книжку Хвольсона «Развитие физики за последние 50 лет».

² Poggenдорф «Geschichte der Physik».

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

справочника по физике ¹. Эта общая точка зрения заставила Розенбергера захватить проблемы довольно широко и даже попытаться связать эволюцию физики с эволюцией общего научного мирозерцания. А так как основная концепция немецкого автора, несмотря на всю свою недостаточность и неполноту, является все же верной, то и картина, нарисованная им, получилась не очень далекой от действительности.

В чем же заключается та точка зрения, под углом которой Розенбергер попытался изложить основные факты истории физики? Постараемся разобраться в этом вопросе и оценить сильные и слабые стороны метода немецкого историка. Такая оценка заранее дает читателю представление о том, с какого рода материалом он будет иметь дело на протяжении книги.

Свое предисловие ко всей работе Розенбергер посвящает как раз вопросу об основных установках, которые руководили им при ее составлении. Однако, благодаря краткости, предисловие это не дает еще достаточного материала для суждения о взглядах нашего автора. Поэтому нам придется резюмировать исходные предпосылки, руководившие исследователем, привлекая гораздо больший материал, нежели тот, который имеется в предисловии.

Подчеркнув в предисловии необходимость исследования истории физики как целого, а не специальных историй отдельных физических дисциплин, Розенбергер пишет: «Быть может ни одна наука на всех ступенях своего развития в такой степени не стояла в зависимости от других знаний, как именно физика. Первое место принадлежит здесь неоспоримо философии, которая не только притягала, но и действительно имела на физику некоторое влияние. Правда, со времени господства экспериментального метода, физика большей частью отрицала это влияние, и ее летописцы оставляли последнее в большей или меньшей степени вне поля своего зрения. Автор считает, однако, и то и другое неправильным и потому старается, по крайней мере, обращать внимание читателей на развитие философии во всех тех случаях, где последняя соприкасается с физикой» ².

Уже одно это стремление показать зависимость развития физики от эволюции общего научного философского мирозерцания придает книге Розенбергера ряд черт, выгодно отличающих: ее от других произведений подобного рода. Конечно, можно сказать, что взгляды немецкого историка на связь философского и физического мышления все же недостаточны; можно сказать также, что сведения об основных линиях философской эволюции он заимствует из вторых рук, и поэтому они не всегда доброкачественны; однако благодаря постоянному стремлению автора добраться до философско-методологических корней излагаемых в книге теорий, многие страницы и целые главы его книги дают действительно весьма неплохую картину развития физических наук.

¹ Ноппе «Geschichte der Physik» (Handbuch der Physik, Verl. v. J. Springer. Bd. 1).

² Стр. 28—29.

8 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

Конечно, Розенбергер не ограничивается одним декларативным подчеркиванием значения философии для развития физического исследования. Он пытается детализовать это общее положение и, в развитие его, неоднократно высказывает следующую концепцию, служащую ему основным критерием для оценки различных исторических этапов эволюции физических теорий. В процессе развитого физического познания можно наметить три характерных момента: 1) наличие определенных философских предпосылок, определяющих собою как общий характер теорий, так и наиболее существенные черты тех логических и методологических приемов, которыми пользуется физик, 2) ряд математических допущений и предпосылок со всем вытекающим отсюда аппаратом выводов и вычислений и 3) экспериментальный материал, определяемый как общим характером той методики, которая сложилась к этому времени, так и общим направлением научных интересов. Плодотворное и эффективное развитие физического знания возможно только в том случае, если все эти три момента выступают не как самостоятельные и независимые друг от друга пути научного познания, но именно как не самостоятельные, подчиненные моменты целого. Только единство всех этих трех методов дает действительно истинный путь для физического мышления.

Исторически, однако, развитие физики шло так, что перечисленные моменты процесса физического познания выступали сначала в изолированном виде, односторонне подменяя собою целостный синтетический путь разрешения загадок природы. Греческое естествознание, по крайней мере, в первую полосу своего развития, пользовалось по преимуществу философскими методами, оставляя в стороне математический и экспериментальный пути. Последние греческие физики, а равно и арабы, культивировали по преимуществу математические приемы физического познания. Наконец европейская физика нового времени выдвинула на первый план экспериментальные методы, причем некоторые периоды своего развития она целиком отдавалась чистому экспериментированию.

В чем же сила и слабость каждого из перечисленных путей, и каково должно быть правильное соотношение между ними, обеспечивающее наиболее эффективное продвижение физических знаний вперед?

Начнем с «философской физики».

Отличительной особенностью *философской физики*, по мнению Розенбергера, является выдвижение общих принципов и положений, способных объяснить картину природы как целого. Именно в этом стремлении дать некоторый целостный образ окружающей нас действительности и заключается ценность философского пути физического познания. Философское умозрение намечает те общие вехи, следуя которым человек ставит природе частные вопросы, и определяет характер гипотез, пользование которыми продвигает наше знание вперед.

ПРЕДИСЛОВИЕ 9

Однако само по себе философское познание не способно создать физику как науку, ибо не менее характерной чертой его, чем только что указанная, является его пассивность по отношению к материалу. В своих теоретических спекуляциях философствующий физик вынужден для своих дедукций только воспринимать материал. Он должен исходить из уже готовых наблюдений и оперировать ими, как чем-то данным. Всякая активная постановка какой-либо проблемы уже выводит теоретика за пределы философских спекуляций и вплотную ставит его перед теми методами, которые составляют принадлежность экспериментирующего естествознания.

Наконец третьей характерной чертой философской физики является то обстоятельство, что по самому существу своему она способна дать ответ только на вопрос «почему», т. е. ограничивается лишь *качественной* характеристикой действительности и бессильна дать ответ на вопрос — «как велико» — т. е. открыть возможности для создания *количественной* картины изучаемых процессов. Иными словами, помимо экспериментальных методов, она нуждается в существенном дополнении методами математическими.

Что касается *математической физики*, то сильной ее стороной является логическая законченность и обязательность выводов. Приняв определенные исходные положения, математизирующий физик оперирует далее при помощи математического аппарата, и все его выводы представляют, в конце концов, развернутое выражение содержания этих положений.

Однако математические рассуждения так же не способны создать физику, как это оказывается не под силу и философским спекуляциям. И причины этого кроются в тех специфических чертах, которые присущи математическому рассуждению. Также как и философское, оно должно заимствовать свой материал извне, из тех наблюдений, которые уже имеются налицо. Иными словами, для математической физики характерна та же черта пассивности в отношении материала, которая свойственна и философской физике. И это полагает известные границы для ее развития. Кроме того, ставя один только вопрос «как велико», математическая физика по самому существу своему должна оказаться только *феноменологической* физикой, ничего не дающей в смысле вскрытия качественного механизма изучаемых явлений и, ограничивающейся лишь количественным их описанием.

Наконец, *опытная физика* своей сильной стороной должна считать постоянное обогащение науки все новым и новым материалом. Активность вопрошающего природу разума сосредоточена

именно в эксперименте. Однако, чтобы правильно ставить вопросы природе, необходимо располагать некоторыми общими исходными предпосылками и критериями, а чтобы правильно судить о степени точности построенных на основе этих критериев гипотез, необходима их постоянная количественная проверка пу-

тем математических построений, результаты которых в свою очередь проверяются в эксперименте. Иными словами, без аппарата философской и математической физики экспериментальное искусство является *слепым*. Оно в значительной степени может быть сведено к *технике* научной работы, и весь вопрос заключается в том, куда именно следует направлять эту технику. В разрешении же последнего вопроса решающую роль играют именно философская и математическая физика.

Розенбергер резюмирует свои взгляды на взаимоотношение разобранных нами трех родов физического познания в следующих словах: «Человеческой природе вообще свойственна склонность, не довольствуясь методами, которые ведут вперед медленными, обдумантыми и строго проверенными шагами, постоянно пытаться сразу одним усилием объяснить все загадочное, всю природу. Притом, чем дальше люди от истинной цели, тем естественнее с их стороны признавать опытный путь безнадежным и искать спасения в чистом умозрении.

«Нужно, однако, остерегаться несправедливого отношения к заслугам философии и математики перед физикой и чрезмерной переоценки экспериментального метода, чему, к сожалению, бывали примеры и в наши дни. *Искусство производить опыты само по себе совершенно неспособно действительно двигать науку вперед*. Умозрение, проникающее за пределы современного состояния опыта, будет всегда указывать путь, и диктовать план для дальнейшего наблюдения. С другой стороны, наука о явлениях природы всегда будет находиться в зависимости от математики при исследовании явлений с количественной стороны.

*«Идеал физики ... заключается в сочетании опытного исследования, математики и философии... Там, где тот или другой метод преобладает над остальными, в развитии всегда рано или поздно замечается застой. Но когда эти три фактора соединяются в должном соотношении в одном человеке, появляется гений, создающий новую эпоху в истории науки»*¹.

Приведенный отрывок выражает общую концепцию, лежащую в основе исследования Розенбергера, достаточно полно и ясно.

Конечно, в настоящее время можно сказать, что изложенные нами взгляды немецкого историка слишком банальны и схематичны, чтобы, руководствуясь ими, можно «было бы написать действительно глубокое и фундаментальное исследование. Это,— несомненно. Однако нельзя все же утверждать, что точка зрения Розенбергера сама по себе неверна. Она — недостаточна, но не неверна. Иными словами, она не дает возможности для произведения полной оценки различных этапов развития физики, но все же не искажает действительного положения вещей. Самое главное, что она *совершенно не касается самого механизма развития физической науки*. Последний может быть вскрыт только опреде-

¹ Стр. 143—144. Курсив Розенбергера.

ПРЕДИСЛОВИЕ 11

ленной социологической концепцией. Между тем в отношении социологических построений исследование немецкого историка, как мы уже имели случай заметить, не представляет собою ничего сколько-нибудь продуманного.

Можно было бы привести множество примеров, показывающих наивность и примитивность социологического *credo* Розенбергера. Чтобы не загружать нашего предисловия, мы приведем только два-три, причем все их заимствуем из первого тома¹.

Начнем хотя бы с освещения Розенбергером происхождения греческой науки. Выдвинув утверждение, что восточные народы не могли создать физики, так как находились в плену религиозно-мистических воззрений, немецкий историк пишет дальше: «Только свободному гению греков, искавшему всюду познаваемую связь явлений, оказалось по силам основать науку о природе и ему же исключительно принадлежит создание древней физики»².

Если после этих слов следовало бы какое-нибудь объяснение того, почему же именно грекам удалось заложить принципиальный фундамент естествознания, который сохранил значимость и по сие время, то выписанный отрывок не представлял бы ничего особенного и мог бы быть квалифицирован как простое риторическое вступление в изложение корней генезиса науки. Однако читатель легко может убедиться в том, что Розенбергер считает для себя возможным ограничиться выписанной фразой и только. «Свободный гений греков» выступает у него в роли какого-то *ultima ratio*, а трескотня общих фраз, в конце концов, должна прикрыть лишь крайнюю скудость социологического содержания всей его концепции происхождения науки.

Совершенно аналогично обстоит дело и с объяснением генезиса арабской науки. «Когда много времени спустя — пишет немецкий историк — наука начала давать новые побеги, то произошло это не на старой исторической почве Александрии, не в насиженном гнезде философии — Афинах и еще менее в средоточии церковного могущества — Риме. Старые места оказались исчерпанными и лишенными живительных соков. Зато несколько плодотворных семян были занесены на Восток и здесь старая наука пустила новые корни в совершенно девственной почве»³.

Вряд ли найдется кто-либо, кто взялся бы всерьез защищать подобную «агрономическую» теорию научного прогресса. Все эти рассуждения о девственной и истощенной почве допустимы в серьезной работе только как некоторые метафорические обороты, не более. Однако напрасно искать у Розенбергера чего-либо большего, чем эти метафоры. Ничего, кроме фразеологии, подобной той, которая фигурирует в приведенной выписке,

¹ Мы ограничиваемся первым томом не потому, что он хуже или лучше других, а потому, что в специальных предисловиях к последующим томам наиболее существенные ляпсусы Розенбергера будут оговорены отдельно.

² Стр. 31.

³ Стр. 77.

в дальнейшем содержании текста нет. Весь социальный механизм, управляющий развитием научного знания, остается вне поля зрения нашего историка.

Точно такие же бессодержательные рассуждения можно найти и при освещении зачатков научного развития в христианских странах Западной Европы. «Когда с окончанием переселения народов — повествует Розенбергер — на Западе Европы водворился сравнительный покой, христианство успело окрепнуть извне и изнутри. Возникло вновь стремление к познанию. Оно обратилось на первых порах к тому, что было ближе под рукой, что продолжало всего более занимать умы, именно к религиозным вопросам. В тишине монастырских стен стало замечаться постепенно усиливающееся движение мысли ...»¹ и т. д. Вся мудрость исторической методологии Розенбергера исчерпывается этим «стремлением к познанию». Это «стремление» то увядает, то распускается, то находит для себя «девственную почву», то, наоборот, — «истощенную» и т. д. Ближайшим же образом определить причины, управляющие движением пресловутого «стремления», немецкий историк даже не пытается. Один единственный раз попробовал он заикнуться о природе этого спасительного двигателя науки, и из этой пробы получилось нечто до последней степени наивное. Мы имеем в виду рассуждения Розенбергера, относящиеся к проблемам развития оптики.

«Человеку присуще — говорит Розенбергер — естественное и заманчивое стремление увеличивать свой кругозор»². Оптика, доставляя средства для расширения кругозора, с одной стороны, удовлетворяет этому стремлению, а с другой — сама толкает его вперед и увеличивает.

Примитивность этой немудреной концепции развития оптики настолько ярко бросается в глаза, что можно только удивляться, каким образом сам Розенбергер этого не заметил.

Прежде всего, невозможно сказать ничего определенного о содержании и объеме той весьма абстрактной «потребности», к которой апеллирует Розенбергер. Увеличивать свой кругозор можно в направлениях и к бесконечно малому и к бесконечно большому. Куда же должна влечь человека розенбергерова «потребность»? Далее, следует сильно усомниться в обязательности ее наличия у человека. Исторические факты показывают, что человек, вообще говоря, довольно консервативное существо, и только весьма решительные воздействия окружающей его действительности заставляют его переходить к чему-либо для него новому и тем самым разрушать свои привычные сложившиеся ассоциации и формы мышления. Всякое же расширение кругозора неразрывно связано с переходом в область нового и всегда влечет за собою большее или меньшее распадение привычных понятий и концепций.

Если даже допустить наличие у человека туманной и абстракт-

¹ Стр. 96.

² Стр. 140.

ПРЕДИСЛОВИЕ 13

ной потребности, указываемой Розенбергером. то и это не выведет нас из затруднений. Стремление «увеличить свой кругозор» может быть удовлетворено и простым общим осмотром окружающей действительности и систематическими наблюдениями, осуществляемыми при помощи зрительных труб, призматических биноклей, геодезических приборов, телескопов, спектроскопов, фотоаппаратов и т. д. Исторический вопрос заключается в том, чтобы проследить последовательно *стену форм* удовлетворения названной потребности, смену тех *направлений*, идя по которым человек пытался ее удовлетворить и т. д. Даже более грубые, примитивные и физиологически совершенно необходимые потребности, как например потребность в пище, и то в отношении форм своего удовлетворения представляют собою нечто исторически меняющееся и текучее. От «обеда» первобытного человека, руками разрывавшего сырое мясо и пожиравшего его, до обеда современного французского рантье или китайского мандарина, желающего погурманствовать, — дистанция огромного размера. Выводить и ту и другую форму удовлетворения голода из простого наличия у человека физиологической потребности, это значит — с самого начала отказаться от исторической постановки вопроса. Задача историка сводится к совершенно иной трактовке проблемы. Он должен показать, как и под влиянием каких именно условий менялись, дифференцировались и усложнялись конкретные формы, которые находил человек, чтобы удовлетворить свои элементарные инстинкты, и здесь на сцену должны выступить социологические соображения, а не абстрактная фразеология о «природе человека» и органически присущих ей «потребностях» и «стремлениях».

Впрочем, мы несколько отвлеклись в сторону. Социология Розенбергера так слаба, что тратить время на ее детальное опровержение, пожалуй, *не* имеет смысла. Для нас достаточно просто указать, что в отношении исторического метода книга немецкого историка стоит значительно ниже самых минимальных требований ¹.

Чтобы дать читателю кое-какую социологическую канву, на которую он мог бы наложить фактический материал, сообщаемый Розенбергером, мы попытаемся набросать схематически основные исторические вехи развития естествознания в одну из важнейших эпох, о которых говорит немецкий историк в первом томе своей

¹ Впрочем, наши беглые критические замечания насчет розенбергеровских рассуждений о «природе» человека все же имеют свои резоны. Напомним, что в приведенной несколько выше выписке, подводящей итоги разбора Розенбергером взаимоотношений между философской, математической и экспериментальной физикой, тоже фигурировала эта злосчастная «природа». «Человеческой природе вообще свойственна склонность... постоянно пытаться сразу, одним усилием объяснить все загадочное, всю природу...» (стр. 143). Таким образом и во время от времени повторяющейся гегемонии философской физики тоже повинна природа человека. Поистине, природа эта является и панацеей и источником всех зол. Но где же кончается *природа* и начинается *история*, об этом Розенбегер не говорит ни слова.

работы. Наши замечания, конечно, ни в коей мере не смогут заменить отсутствующий у Розенбергера социологический анализ. Однако, как нам кажется, они смогут все же принести известную пользу, дав некоторый материал для ориентировки.

Розенбергер прав, начиная историю научной физики с греков. Хотя новейшие исследования и показывают, что сложившаяся ранее концепция, согласно которой греки с самого начала выступили на арену научного мышления как вполне самостоятельная сила, неверна ¹, — пока, все же, специфически научные методы мышления нам приходится датировать эпохой создания ионийской физиологии.

В том обстоятельстве, что именно греки разработали основные принципы научного познания, повинны, конечно, не специфические первичные свойства «свободного духа» народов, населявших балканские берега Средиземного моря, а чрезвычайно благоприятная историческая ситуация, в какую попали эти народы к VII веку до нашего летосчисления.

В самом деле, Греция обладала сравнительно скудной природой и очень рано начала нуждаться, с одной стороны, в отдушинах, через которые можно было бы выбрасывать избыточное народонаселение, а с другой — в импорте целого ряда продуктов из прилегающих стран. Обе эти потребности могли быть удовлетворены сравнительно легко, ибо географические условия были очень удобны как для разрешения эмиграционной проблемы, так и для развития торговли. Греция, площадь которой равнялась приблизительно площади современной Португалии, обладала береговой линией, большей, чем та, которую имеет Испания ².

Обстоятельство это должно было сильно содействовать развитию греческого мореходства, которое стимулировалось к тому же скудостью природы. Этим и объясняется раннее развитие торговли и необычайно быстрый темп колонизации греками побережий Черного и Средиземного морей.

Развитую денежную торговлю мы встречаем у некоторых греческих племен (напр. у мидян) уже в VIII в. до нашей эры. Что же касается до торговой колонизации, то некоторое представление о районах и размерах ее дают следующие факты. Уже с первой четверти VIII в. начинается систематическая колонизация греками черноморского побережья и основывается ряд крупных по тогдашним масштабам «городов: Синоп (ок. 785.), Трапезунд (ок. 750) и др. Колонизация Сицилии началась в это же время (Сиракузы были основаны около 755 г.). В устьях Нила греки утвердились около 700 г. и т. д.

Важнейшая роль в этом колонизационном процессе выпала на

¹ См. напр. работу С. Лурье «К вопросу о египетском влиянии на греческую геометрию» («Архив истории науки и техники» т. I. Изд. АН 1933); его же История античной общественной мысли» (М. 1929); J. Faure «L'Egypte et les presocratiques» (Paris 1923); Hopfner «Orient und griechische Philosophie» (Leipzig 1925) и др.

² Ср. Гомперц «Греческие мыслители», т. 1, стр. 4.

ПРЕДИСЛОВИЕ 15

долю Милета, который, благодаря своему географическому положению, выполнял роль главного посредника между Грецией и более старыми восточными цивилизациями. К концу VII века Милет насчитывал у себя уже около 100 больших торговых колоний.

Рост торговых связей и обусловленное им расширение географического горизонта влекли за собою соответствующие сдвиги в области миропонимания. На месте патриархально-феодалного земледельческого традиционализма начинают пробиваться первые ростки рационалистического индивидуализма. Носителями этих новых веяний явились торговцы, которые очень быстро стали эмансипироваться от всех традиционных форм жизненного уклада и мышления.

Путешествуя по всему тогда известному миру, эти торговцы имели возможность наблюдать массу самых различных бытовых укладов, обычаев, верований и т. д. В их сознании накопился целый ряд всевозможных научных сведений. Торговые путешествия знакомили их с географией и космографией. От народов, с которыми они завязывали торговые сношения (главным образом египтян и финикиян), они перенимали математические и астрономические знания и т. д. Собирая все эти сведения, греческие торговцы, так сказать, секуляризировали их. У халдеев, египтян и финикиян научные сведения были достоянием жреческого сословия и составляли до известной степени часть их религиозной доктрины. У греков же эти сведения приобретали совершенно «светский» характер, так как не были элементами их собственного религиозного учения. Да и вообще жреческое сословие никогда не было в Греции развито особенно сильно.

Это последнее обстоятельство имело огромное значение. Гомперц справедливо замечает, что «поскольку простираются наши исторические познания, мы лишь там встречаем начатки научного исследования, где существование организованного жреческого и ученого сословия обеспечивает собою необходимый для этого досуг... Однако именно там первые шаги часто оказываются и последними, вследствие того, что добытые научные теории, слившись неразрывно с религиозными положениями, подобно им застывают в безжизненных догмах. Помочи, без которых не может обойтись ребенок, обращаются в путы, связывающие движения взрослого человека. Поэтому-то для успешности и свободы духовного прогресса эллинов столь неоцененным благом было как то, что его культурные предшественники имели жреческую организацию, так и то, что у них самих ее никогда не было: таким образом будущие носители научного развития человечества одновременно пользовались преимуществом и были освобождены от невыгод, связанных с существованием ученого жречества. Опираясь на подготовительную работу египтян и вавилонян, ничем не связанный греческий гений мог устремиться вверх и отважиться на полет, открывший ему высшие цели»¹.

¹ «Греческие мыслители», стр. 39-40.

Из систематизации разнообразных, полученных со всех концов земли, сведений и родилась греческая наука и научное мировоззрение. Последнее на начальных этапах своего развития явилось, таким образом, идеологическим выражением эмансипации торговцев, которые, почувствовав под собою прочную социальную базу, начали борьбу со старым феодальным укладом. Родиной новых идей была как раз Малая Азия (главным образом Милет), где торговля пустила наиболее крепкие и разветвленные корни. Главные же противники рационального научного миропонимания — мистицизм, теософские спекуляции орфиков и т. д. — в качестве географической базы имели преимущественно Западную Грецию, хозяйственную основу которой составляло земледелие.

Таковы социальные корни происхождения греческой науки. Мы видели, что тайна «свободного гения греков», к которому апеллировал Розенбергер, имеет свою разгадку.

Розенбергер сетует на греческих мудрецов за то, что они сразу же хотели строить космологию. «Для науки древних — пишет он — эта высокая цель принесла положительную пользу, возбуждая живой интерес к природе, но вместе с тем и положительный вред, отклоняя внимание от правильного пути, ведущего от изучения частного к объяснению целого»¹. Однако необходимо понять, что подобный характер греческого естествознания, преследовавшего цель дать картину целого, был исторически совершенно неизбежен. «Так как греки — пишет Энгельс — не дошли еще до расчленения, до анализа природы (а подобный анализ требует длительной исторической подготовки. — С. В.), то она у них рассматривается ... как целое, в общем и целом. Всеобщая связь явлений в мире не доказывается в подробностях ... для греков она является результатом непосредственного созерцания. В этом недостаток греческой философии (и естествознания, слитного с философией. — С. В.), благодаря которому она должна была впоследствии уступить место другим видам мировоззрения. Но в этом же заключается ее превосходство над всеми ее позднейшими метафизическими соперниками. Если метафизика права по отношению к грекам в подробностях, то греки правы по отношению к метафизике в целом. Это одна из причин, в силу которых мы вынуждены будем в философии, как и во многих других областях, возвращаться постоянно к подвигам того маленького народа, универсальная одаренность и деятельность которого обеспечили ему такое место в истории человечества, на которое не может претендовать ни один другой народ. Другой же причиной является то, что в многообразных формах греческой философии имеются в зародыше, в возникновении почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет познакомиться с историей возникновения и развития своих современных общих теорий, должно возвращаться к грекам»².

¹ Стр. 33.

² «Диалектика природы», стр. 90. изд. 1929 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ 17

Разумеется, в этой оценке Энгельса дана гораздо более правильная и глубокая, чем в книге немецкого историка, характеристика сильных и слабых сторон греческого естествознания, совладавшего, как это понимает и Розенбергер, с натурфилософией. Описывая эволюцию античной физики, Розенбергер неоднократно подчеркивает, что античные естествоиспытатели совершенно не пользовались экспериментом и не могли подняться до создания опытной физики. Особенно подробно эта мысль развивается им при оценке физики Аристотеля. В отсутствии экспериментальных методов Розенбергер видит «коренную причину промахов всей древней физики: эта физика была философией природы, пытавшейся одним широким взмахом обнять все мироздание, а не скромной экспериментальной наукой, которая довольствуется объяснением простейших физических явлений»¹.

Нельзя, конечно, не согласиться с Розенбергером в том, что для античной физики действительно характерно чрезвычайно слабое развитие экспериментальных методов. Розенбергер не прав только в том, что он совершенно отрицает какое бы то ни было их наличие у античных мыслителей. Между тем доказательства материальности воздуха Анаксагором и Эдпедоклом, монохорд пифагорейцев, опыты Птолемея над преломлением света и т. д. — все это эксперименты, хотя и примитивные².

Поэтому нам приходится несколько ослаблять категоричность высказываний Розенбергера. Кроме того, мы должны указать и на то обстоятельство, что, констатируя отсутствие у античных физиков эксперимента, немецкий историк совершенно не попытался выяснить причины этой своеобразной черты античной физики. Между тем, уже в той литературе, которою мог пользоваться Розенбергер, был нащупан совершенно правильный ответ на этот вопрос.

Историки науки уже давно пришли к выводу, что многие черты, характерные для античного естествознания, объясняются своеобразным социальным укладом греческого и римского общества. В частности, отсутствие экспериментальных методов, берет свое начало именно отсюда. Мах, например, писал по этому поводу: «Естественные науки могли развиваться только в качестве побочного продукта из ремесел. Но ремесло и вообще физический труд презирались в древнем мире. Существовала резкая грань между *рабами*, занимавшимися физическим трудом и наблюдавшими природу, и *господами*, которые занимались на досуге умозрениями, но природу часто знали только понаслышке. Этим в значительной части объясняется *наивное, туманное и фантастическое* в античном естествознании. Только редко пробуждается у геометров, астрономов, врачей и инженеров стремление самим испытать, делать опыты. И это стремление всегда увенчивается

¹ Стр. 50.

² В работе J. Müllera «Ueber das Experiment in den Physik. Studien de Criechen» (1897) собран довольно большой материал по этому вопросу.
Розенбергер. История физики, т. I

значительным успехом, как, например, у Архита Тарентского или у Архимеда Сиракузского»¹. И нам представляется, что эта точка зрения совершенно справедлива.

Зародившись на почве технической, производственной практики, античная наука, однако, не получала от нее в дальнейшем достаточно систематических оплодотворяющих толчков, так как между практикой и теоретическими спекуляциями встало рабовладение. Это обусловило, с одной стороны, специфическую *форму* всех теоретических конструкций античных физиков: абстрактность, отрешенность от мира, логическую отточенность, завершенность и аксиоматическую законченность, а с другой — создало в античной науке значительную и влиятельную *скептическую* струю, под конец совершенно заполонившую собою всю область античного теоретического знания.

Розенбергер объясняет влияние скептицизма в античной науке исключительно философским характером ее методов. «И в древности — пишет он — уже успели убедиться, что философия не способна оправдать возлагаемых на нее надежд и за этим последовала двоякая реакция. Философии отвернулась от природы и стала, с одной стороны, скептицизмом, провозгласившим устами софистов невозможность познания, с другой, — идеалистической философией, относившейся с презрением к изучению природы»².

Эта точка зрения представляется нам не совсем правильной. Натурфилософский агностицизм и скептицизм объясняются по нашему мнению не столько преобладанием в античном естествознании философских методов, сколько шаткостью технической и экспериментальной базы этого естествознания. Иными словами, при объяснении корней скептицизма речь должна идти не о положительном вреде, нанесенном физике философией, а об отрицательном результате отрыва античной физики от необходимой для нее экспериментально-технической почвы. Заметим, попутно, что некоторые школы античной физики, — например, атомисты — понимали важность экспериментирования в процессе разработки физических теорий, и в произведениях Демокрита, а особенно, в канонике Эпикура, можно найти не мало положений, вошедших в плоть и кровь современной теории физического познания.

Чтобы не перегружать слишком сильно предисловия, мы должны ограничиться этими немногими замечаниями, касающимися общего характера античной физики. Перейдем теперь к «краткой характеристике отдельных ее представителей и течений и попытаемся в максимально сжатом виде изложить центральные идеи мыслителей, хотя и упоминаемых Розенбергером, но, как правило, — без достаточного освещения того, что они внесли в науку.

Изложенные выше соображения относительно происхождения античной физики дают нам ориентировку и для оценки ее первых

¹ «Познание и заблуждение», стр. 94.

² Стр. 38.

ПРЕДИСЛОВИЕ 19

шагов. Мы видели, что научная мысль Греции зародилась в малоазиатских колониях и милетская школа дала первых глашатаев науки. Ионийская натурфилософия (Фалес, Анаксимандр, Анаксимен) была идеологией новых общественных групп, возникших из распада старого натуральнохозяйственного общества.

Заслуги ионийцев, недостаточно подчеркнутые Розенбергером, состоят в том, что они впервые выдвинули и формулировали — пусть в наивной и примитивной форме — те основные принципы, которыми и по сие время руководствуется и которые до наших дней обсуждает физическая наука.

Так, например, Фалес, главная задача которого заключалась в сведении многообразия окружающих человека явлений к единому первоначалу, положил начало поискам тех принципов физики, которые обычно называются *принципами сохранения*. Конечно, Фалес не формулировал ясно цели своих исследований, но из общей архитектоники его космологии последняя выявляется достаточно рельефно.

Что касается Анаксимандра, то ему, безусловно, принадлежит заслуга первой постановки космогонической проблемы, причем в своей собственной космогонии он с совершенной ясностью формулировал положение, которым и по сие время руководствуется наука. Это положение Таннери передает так: «Возникновение немыслимо после бесконечно долгого устойчивого состояния, как немыслимо и бесконечно долгое устойчивое состояние после разрушения, а потому приходится мыслить бесконечную периодическую смену возникновений и разрушений»¹. Критика второго начала термодинамики, критика релятивистской космологии и в наши дни должна пользоваться этим принципом.

Наконец, Анаксимен первый признал и сознательно формулировал принцип безусловного *единства материи* и таким образом сделал дальнейший шаг по пути, который был впервые указан Фалесом. Конечно, принцип этот и по настоящее время является в значительной мере лишь программой, а не естественнонаучным фактом, но это не меняет дела. Гипотеза Проута, атомная модель Бора и т. д. являются достаточно вескими доказательствами того, что мысль Анаксимена и до наших дней в известной мере направляет поиски физиков. В то время как на востоке Греции и, в частности, в малоазиатских колониях под влиянием развития обмена мелкое крестьянство и землевладельческая аристократия потеряли руководящее значение очень рано, уступив место торговой буржуазии, на западе и в метрополии сильны были еще старые социальные традиции, базировавшиеся на косных условиях сельскохозяйственного производства. Этим, по-видимому, и объясняется длительное господство в метрополии и западных колониях мистических учений, заимствованных из Египта, учений, получивших название орфико-пифагорейских.

¹ «Первые шаги древнегреческой науки», стр. 106.

Орфические учения представляют собою своеобразную переработку старых религиозных верований в соответствии с изменившимися общественными условиями. Отражая интересы земледельческого населения, страдавшего от развития денежного хозяйства, орфики не видели в будущем ничего хорошего и создали довольно целостную концепцию о прожитом уже человеком «золотом веке». Как социальный пессимизм орфиков был антитезой оптимизма милетцев, так туманная теософская мистика их космологических и физических конструкций была полной противоположностью логической прозрачности и рациональной ясности теорий ионийцев.

Пифагореизм — как оформление взглядов землевладельческой аристократии — вырос именно из орфических учений, и старая легенда не напрасно считает Пифагора учеником орфического богослова-систематика Ферекида. Для космологии пифагорейцев характерно изобилие самых наивных антропоморфизмов. Пронизывающий их физическое учение дуализм противоположных начал: предела и беспредельного, организованности и хаоса совершенно явственно связывается с их социальной концепцией, рассматривающей общество как борьбу аристократического начала «порядка» с хаотичностью и неорганизованностью демоса.

Хотя в противовес материализму ионийцев пифагорейцы и не смогли формулировать законченной идеалистической доктрины, все же их идеалистические тенденции дают себя чувствовать совершенно определенно. Поэтому обращения последующих идеалистов, и, в частности Платона, к пифагореизму отнюдь не случайны, а являются совершенно естественным выражением социальной преемственности и симпатии.

Ионийская наука очень быстро и убедительно показала, что между научным и антропоморфно-религиозным миропониманием лежит целая пропасть. Попытки пифагорейцев отыскать между ними общую почву оказались тщетными. На новой теоретической базе аналогичную попытку заново произвели элейцы и в частности Парменид. Такой теоретической базой послужили для них строгое разделение между неизменным миром истинного бытия и миром текучих явлений, миром иллюзорного бывания. Явившись с целью дискредитации достижений ионийской науки аристократией, элеизм сыграл большую роль для последующего развития греческой науки, так как заложил начало последующему методу софистов, а затем и скептиков. Задача элейцев была чисто отрицательной. Они хотели, отвергнув современную науку, тем самым расчистить некоторое место для традиционных воззрений. Эта отрицательная задача и обусловила специфический характер элейского метода. Однако, как правильно замечает Розенбергер, непосредственного влияния на *содержание* античной физики элейцы не оказали.

Гораздо значительнее было влияние Эмпедокла, явившегося детищем переходного периода. Хронологический рубеж между VI и V веками явился эпохой

ПРЕДИСЛОВИЕ 21

глубокого разрыва между наукой греческого востока и запада. Однако к середине V века этот разрыв несколько сгладился. Западные мыслители должны были принять завоевания ионийской науки, заключавшиеся в учении о единстве вселенной и сводимости ее видимого многообразия к небольшому числу первичных начал. Они должны были также принять учение о том, что мир не тождественен с чувственной его картиной, и попытаться устранить все наиболее бьющие в глаза антропоморфные элементы старого мирозерцания. Став перед необходимостью усвоить новое, они не хотели отказываться от старого, так как всеми своими корнями были связаны с прошлым. Это двойственное положение мыслителей V века и объясняет противоречивую природу их философии. Старые орфические представления они должны были одеть в новый ионический костюм. Типичным представителем этой переходной эпохи и явился Эмпедокл.

Несмотря на свои консервативные тенденции, Эмпедокл внес в науку очень много нового. Характеризуя основные естественнонаучные идеи Эмпедокла, Гомперц пишет: «С Эмпедоклом мы как бы... переносимся в современную химию. Три основные идеи этой науки впервые отчетливо выступили перед нами: гипотеза множественности и притом ограниченной множественности основных элементов; идея соединений, в которые вступают между собою эти элементы, и, наконец, признание многочисленных количественных различий, или изменчивость пропорции в этих соединениях»¹.

Что же касается Анаксагора, то в дополнение к сведениям, сообщаемым о нем Розенбергером, мы подчеркиваем только следующее. Отличаясь гораздо большим ионийским духом, чем Эмпедокл, Анаксагор главной своей целью считал, однако, обоснование принципа невозможности возникновения и уничтожения, предложенного Парменидом. Этот принцип он хотел соединить с объяснением реальных процессов изменения, примеры которых опыт дает на каждом шагу. Из этих противоречивых тенденций и выросла теория материи Анаксагора, несомненно, оказавшая влияние на Демокрита.

Мы должны заметить, что, несмотря на, в общем, весьма сочувственную оценку Демокрита и атомистической школы, Розенбергер все же слишком мало уделяет внимания изложению позитивных физических теорий атомистов. Между тем теории эти во многом явились предвосхищением новейших физических учений, и с этой точки зрения их значение для эволюции физики было чрезвычайно велико.

Будучи эмпириком, развивавшим на новой теоретико-познавательной базе основные идеи ионийцев, Демокрит обосновывал свои теории настолько позитивно, что должен был бы удовлетворить даже такого придирчивого критика, сетующего на отсутствие в греческом естествознании экспериментальной базы, как Розен-

¹ «Греческие мыслители», т. I, стр. 201.

бергер. Мокрая тряпка — говорит Демокрит — становится сухой, очевидно, бывшие в ее порах частицы воды улетели. Открыв флакон духов, мы ощущаем запах; очевидно, частицы, отделяющиеся из флакона, долетают до нашего носа. Кусочек краски, брошенный в жидкость, равномерно окрашивает ее; очевидно, частицы краски перемешиваются с частицами воды. Дуновение ветра можно объяснить как бомбардировку атомами воздуха. Различие агрегатных состояний есть различие в степени взаимной связанности атомов тел. Все эти аргументы и сейчас излагаются в учебниках физики и, по правде сказать, со времени Демокрита и Эпикура человечество придумало в защиту атомистики не так уж много принципиально новых доказательств.

О Платоне Розенбергер говорит только, что его теории не имели значения для развития физики. Это не совсем верно. Теории Платона оказали некоторое влияние на физику, но влияние отрицательное. Заимствовав много от Демокрита, Платон облек всю свою натурфилософию такой густой оболочкой анимизма и мифологии, что в результате были закрыты все пути для подлинного изучения природы. Влияние «западных» идей орфизма и пифагореизма на Платона оказалось решающим. Как наиболее крупный из идеологов аристократии он и попытался синтезировать их в единую систему.

На характеристике идей Аристотеля Розенбергер останавливается весьма подробно. Однако внимание это объясняется отнюдь не тем, что аристотелевы теории означали значительный шаг вперед в углублении наших знаний о природе. С точки зрения прогресса физического миропонимания учение Аристотеля, несомненно, являлось шагом назад по сравнению с учением Демокрита. Это должны были признать даже идеалистически настроенные историки греческой мысли. В частности, Ланге, книга которого фигурирует в списке использованных Розенбергером работ, указывает, например, на то, что *слово* играло в мирозерцании Стагирита слишком большую роль и что многие теории, предложенные им, сводятся к простому уяснению функции слова. «Аристотель старается — пишет далее Ланге — повсюду возможно теснее примкнуть к традиции, к народному мнению, к понятиям, выраженным в языке, и его этические требования по возможности мало удаляются от общепринятых обычаев и законов греческих государств. Поэтому он во все времена был излюбленным философом консервативных школ и партий»¹. И нам представляется, что эта характеристика совершенно справедлива. При всем том Аристотель оказал огромное воздействие на последующую эволюцию мысли. В чем же тайна этого воздействия, чем оно объясняется? Розенбергер оставляет эти вопросы без ответа. Между тем они заслуживают внимания.

Нам кажется, что одной из характерных черт философии Аристотеля, объясняющей силу влияния ее на научное сознание

¹ «История материализма», перевод под ред. Соловьева, т. I, стр. 44.

ПРЕДИСЛОВИЕ 23

средневековья, является ярко выраженная замкнутость и законченность. Ограничив круг своей вселенной, Аристотель двигался в этом кругу совершенно уверенно и категорично. Его система носила явственную печать того убеждения, что все необходимое и достаточное для решения теоретических вопросов в ней уже дано.

Следует подчеркнуть, что единства своего мировоззрения и, в частности, своей физики Аристотель добился, пользуясь средствами самого крайнего антропоморфизма и самой наивной телеологии. Но именно эти пути аристотелева мышления, именно эти явственные проявления нежелания Аристотеля порвать с традицией наивного чувственного миропонимания и должны были обеспечить его умозрениям успех.

Характерна для аристотелевой физики также тенденция к чисто *качественному* мышлению. Категории «материи», «формы» и «движения» аристотелева учения о природе с самого начала исключают какую бы то ни было возможность количественной математической обработки. Все многочисленные попытки дать на основе аристотельянства количественное учение о природе, имевшие место в конце средневековья, оказались совершенно бесплодными. И эта черта тоже должна была способствовать торжеству аристотельянства в средние века. При натурализации хозяйственных отношений в эпоху средневековья было бы трудно ожидать влияния мировоззрения, проникнутого математическими принципами. Наоборот, чуждое количественным понятиям и насквозь качественное миропонимание Стагирита должно было легко укладываться в сознание человека той эпохи.

Нам осталось еще два замечания по поводу освещения Розенбергером истории античной физики.

Первое касается роли математики в греческом мировоззрении и, в частности, в мировоззрении Платона и платоников. Несомненно, Розенбергер остается здесь в плену традиционных взглядов. Он неоднократно подчеркивает, что платоники были, прежде всего, математиками, а потом уже философами. Между тем, внимательный анализ показывает, что математические аналогии в философии Платона были лишь внешними аналогиями, не больше. Во всяком случае, реального научного значения они не имели¹. Но это впрочем — деталь. Гораздо существеннее общее освещение, которое дает Розенбергер роли математики в античной физике.

Лишь только математика — пишет Розенбергер — «проявила склонность перейти на практическую почву и обрела в астрономии и физике гостеприимную область для применения своих положений, она отделилась от философии и вскоре достигла самостоятельности. Математика не только сама отделилась от философии, но и освободила физику из-под ее исключительной опеки, так что наряду с философской физикой возникла физика математическая, не соприкасавшаяся с первой даже в лице разрабатывав-

¹ См. об этом статью Выгодского «Платон как математик» (Сборник «На борьбу за материалистическую диалектику в математике», ГИЗ, 1931 г.).

ших ее ученых»¹. В результате, к началу александрийского периода философия, по мнению Розенбергера, оказалась «на нисходящей, а математика — на восходящей линии развития.

Такая характеристика, на наш взгляд, не полна и поэтому не совсем верна.

Верно то, что александрийская физика не носила уже того характера, какой имела физика V и IV вв. Александрийские ученые отказались уже от попыток дать всеобъемлющую физическую теорию и принялись за детальное изучение отдельных явлений. Поэтому к философским принципам они относились довольно свободно, заимствуя из старого научного наследия лишь те или иные специальные объяснения, но не общие теории. Типичным примером является в этом отношении Герон. И несомненно, что с точки зрения естественного развития научного знания такое положение явилось шагом вперед. От суммарного объяснения целого физика, пользуясь, правда, довольно эклектически прошлым багажом, перешла к специальному изучению деталей. Гипотетический характер всех подобных детализированных теории был совершенно ясен даже непосредственным их творцам. И действительно, многие из предложенных теорий быстро пали под натиском скептической критики.

Однако была область знания, которая, по-видимому, сумела выдержать натиск даже самых придирчивых критиков, «именно — математика. Математика давала действительно совершенный образец строго необходимого и общеобязательного научного рассуждения. Естественно должна была возникнуть мысль об использовании математического метода для придания достоверности физике. Так постепенно подготавливалась почва для возникновения математической физики.

Но специфические черты александрийской математики должны были отразиться и на возникающей математической физике. Для всей александрийской математики характерна исключительная забота о форме. Культивировавшаяся классом, мало связанным с непосредственным производственным процессом, она была утонченным продуктом интеллектуальной деятельности, призванным удовлетворять скорее эстетические, чем технические потребности. В геометрических произведениях Евклида это нашло себе достаточно яркое выражение. И было бы, конечно, трудно ожидать, чтобы в трактатах по оптике Евклид отказался от усвоенных им общих принципов.

Даже Архимед, который стоял в некоторой оппозиции к александрийцам, или, во всяком случае, был по отношению к ним самостоятелен, не представляет в данном случае исключения. Розенбергер пишет о методе Архимеда, что «последний хотя и дает надежные результаты, но ... имеет тот недостаток, что скрывает путь, по которому сам изобретатель пришел к своим основным положениям»¹. Замечание это совершенно справедливо.

¹ Стр. 61.

ПРЕДИСЛОВИЕ 25

Оно впрочем, должно быть отнесено не только к Архимеду, но и ко всем античным математикам. Их метод действительно был совершенно агенетическим. Формальная строгость этого метода обуславливалась чрезвычайно сильным влиянием в идеологии античного общества скептической философии, подвергавшей самой едкой критике все позитивные научные теории. Математики хотели, используя методы, разработанные еще в эпоху софистики, с самого начала гарантировать себя от покушений критики. Отсюда — педантизм и формализм Евклида. Отсюда же — агенетизм Архимеда.

В самом конце XIX века Гейбергу посчастливилось найти в одном палимпсесте неизвестное сочинение Архимеда *Ephodion*¹, которое с поразительной ясностью свидетельствует о том, что Архимед пользовался при доказательстве многих своих теорем методом, чрезвычайно близким к нашему нынешнему методу интегрирования. Однако всюду результаты своих исследований он излагал в традиционной синтетической форме, так как, по-видимому, опасность критических нападков со стороны скептической философии казалась ему чрезвычайно актуальной.

О Героне Розенбергер говорит очень мало, так как в ту пору, когда немецкий историк составлял свою книгу, главное сочинение Герона «Механика» было известно лишь по незначительному количеству фрагментов. То же относится и к Филону Византийскому. Однако в 1894 г., на основе вновь открытых арабских переводов, удалось почти полностью реконструировать «Механику» Герона, а в 1897 г. «Пневматику» Филона. Эти реконструкции показали, какое важное значение для физики имели работы двух названных ученых².

Мы не станем следовать за Розенбергером в освещении последующих периодов истории науки, охваченных им в настоящем томе. И без того предисловие наше слишком разрослось. Для социологической оценки сообщаемых Розенбергером фактов читатель должен обратиться к специальной литературе. Устраним только одно довольно существенное фактическое недоразумение, фигурирующее в тексте первого тома и связанное с оценкой Розенбергером алхимии.

«Пока арабы смешивали и разделяли вещества — пишет Розенбергер — стараясь превратить свинец в золото химическими приемами, они оставались химиками; когда же они наряду с веществом, долженствовавшим произвести это превращение, начали отыскивать философский камень — этот источник всякого совершенства,— то из адептов науки они превратились в шарлатанов. Вот

¹ Впервые было опубликовано в журнале «Hermes» в 1907 г. Немецкий перевод, сделанный Гейбергом вместе с Цейтенем, был в том же 1907 г. издан в *Biblioth. Mathem. III, Folge VII*.

² В недавно вышедшем на русском языке первом томе «Истории естествознания» Даннемана (Медиз 1932), читатель может найти довольно полное изложение содержания обоих названных сочинений (стр. 188—198).

почему алхимия, вопреки существующему мнению, так же мало совпадает с химией, как астрология с астрономией»¹.

Желание порвать с установившимся мнением привело здесь Розенбергера к несомненной ошибке. Астрология имела с астрономией чрезвычайно важную общую задачу именно — научиться определять положение небесных светил для любого как будущего, так и прошедшего момента времени. Без удовлетворительного (т. е. точного) решения этой задачи астрологи не считали возможным пускаться в свои фантастические конструкции, на основе которых составлялись гороскопы. Поэтому естественно, что астрология подготовила рождение астрономии. Большой наблюдательный материал, собранный астрологами, разработка различных методов наблюдений и вычислений, выполненная ими, — все это вошло в железный инвентарь научной астрономии.

Совершенно аналогично обстояло дело и с алхимией. Поиски философского камня заставляли алхимиков разрабатывать различные методы анализа, производить всевозможные пробы и т. д. На этом пути накоплялся большой материал, который лег затем в основу научной химии. Отделять алхимические задачи от химических, как это делает Розенбергер, было бы совершенно неправильно, ибо химические задачи реально были очень долго подчинены алхимическим. В конце концов, поиски философского камня сыграли в истории химии такую же роль, как поиски *perpetuum mobile* аз истории физики. Поэтому сбросить всю алхимию со счетов истории науки — это значит сделать большую ошибку.

Конечно, многие алхимики были шарлатанами. Такой авторитетный историк естествознания, как Таннери, квалифицирует эпитетом шарлатана даже Гебера, крупнейшего из арабских алхимиков, оказавшего наибольшее влияние на латинский запад. Но дело, в конце концов, не в личной честности того или иного из исторических персонажей, а в социальной значимости тех взглядов, которые он проповедовал. Заявления Гебера, что он открыл тайну философского камня, только прищипоривали усердие западных алхимиков.

Не получила ли экспериментальная физика первые намеки на свой метод от алхимии? — спрашивает Розенбергер, и тут же продолжает: — «Ответим прямо: ни у арабов, ни у христианских физиков средневековья не замечается ни малейших признаков подобного влияния, и это, по нашему мнению, объясняется тем, что алхимия — не наука, и что беспорядочные гадательные пробы всех возможных химических комбинаций не имеют ничего общего с экспериментальным, научным методом»².

В этой суровой оценке верно, во-первых, то, что алхимия почти не влияла на физику и, во-вторых, что эмпирические пробы алхимиков мало похожи на настоящий экспериментальный метод науки. Но объяснение этих фактов дано совершенно неправильное.

¹ Стр. 84.

² Стр. 84.

ПРЕДИСЛОВИЕ 27

Если мы возьмем историю уже не алхимии, а химии, то убедимся, что химия тоже почти не оказывала влияния на развитие физики. Наоборот, также как и алхимия, химия сама испытывала сильные воздействия физики и реформировалась под их влиянием. И дело объясняется отнюдь не тем, что химия «менее научна», чем физика, а просто-напросто тем, что, изучая более сложный тип взаимодействия явлений природы, химия неизбежно должна была обратиться к помощи тех соотношений, которые были установлены для более элементарных процессов.

Совершенно аналогично обстояло дело и с алхимией. Она просто не могла влиять на науку, продвинувшуюся значительно дальше ее. Наоборот, она должна была испытывать воздействие с ее стороны. Но, — надо сказать прямо, — в конце концов в средневековой физике было отнюдь не меньше фантастических элементов, чем в алхимии.

Мы осветили далеко не все моменты книги Розенбергера, которые нуждаются в критической оценке. В рамках предисловия такая задача вообще вряд ли выполнима. Нам важно было показать лишь общий характер работы немецкого историка, чтобы при чтении ее читатель знал, что к ней нужно относиться критически, и заранее мог подготовить свое внимание к тому, чтобы наиболее слабые моменты книги не прошли для него незамеченными.

Если читатель действительно вдумчиво и критически отнесется к изложению Розенбергера, то он получит от него вполне достаточный материал, чтобы приступить к работе над специальными трудами по истории отдельных физических проблем. Все необходимое для первоначальной ориентировки в исторических фактах в книге Розенбергера имеется. И дело только за вдумчивым и критическим ее чтением.

С. Васильев.

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ.

Автор предлагаемого сочинения поставил себе главной целью изложить историческое развитие физики таким образом, чтобы, с одной стороны, было удобно установить состояние этой науки в каждый данный момент времени, а с другой стороны, — определить общее направление ее развития. Для осуществления своей цели он применял три приема в отличие от предыдущих работ по истории физики, но в этом автор как раз надеется найти оправдание для появления в свет *своего* труда. Насколько автору известно, прежние сочинения представляют собою, собственно, не историю физики как единой науки, а истории отдельных физических дисциплин, распределенные на большие и меньшие периоды и изложенные в большей или меньшей взаимной связи. При таком изложении общий обзор состояния всей науки в целом до того затрудняется, что читатель, не сделавший изучения истории физики своей специальностью, не может получить понятия об общем характере науки за то или другое время. К тому же нередко случается, что как раз те писатели, которые ставят своей главной целью изложить развитие этой науки, относятся слишком легко к хронологическому порядку и перескакивают вперед и назад через промежутки в сотни лет. Если и можно допустить законность подобных скачков там, где дело идет об одном ряде развития, следует, однако признать, что этот метод делает почти невозможным сравнение различных рядов и изучение их параллелизма и взаимодействия; кроме того, конечно, для истории важно знать также и пробелы, и периоды застоя научной жизни.

Автор старался избежать этих недостатков, *строго придерживаясь хронологического порядка* и разбирая все физические открытия по времени их появления. Он сознает, конечно, что такая внешняя последовательность во времени может идти в ущерб внутренней связи, создавая впечатление мнимых перерывов в ходе развития там, где их в действительности нет. Поэтому, в целях облегчения, каждому отделу предпосланы введения, в которых наперед отмечаются руководящие параллельные и перекрестные нити и дальнейшее их направление.

Для полного понимания развития физики требуется, однако, еще кое-что, сверх знания одних исторических данных. Быть может, ни одна наука на всех ступенях своего развития в такой степени не стояла в зависимости от других знаний, как именно физика. Первое место принадлежит здесь неоспоримо филосо-

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ 29

фии, которая не только притязала, но и действительно имела на физику некоторое влияние. Правда, со времени господства экспериментального метода, физика большею частью отрицала это влияние, и ее летописцы оставляли последнее в большей или меньшей степени вне поля своего зрения. Автор считает, однако, и то и другое неправильным и потому старается, *по крайней мере, обращать внимание читателя на развитие философии во всех тех случаях, где последняя соприкасается с физикой.*

И, наконец, автор пытается учесть влияние на физику других наук с помощью *синхронистических таблиц*; в последних приведены те факты из области математики, химии и естествознания, а также исторические события, знание которых полезно для уяснения хода развития нашей науки ¹.

Читатель, основательно знакомый с историей физики, не будет, конечно, ждать после всего сказанного от этой книги много нового *материала*; но если при просмотре ее он найдет, что знакомые ему области в новом освещении представлены верно и соответственно действительности, автор сочтет себя счастливым. Физику же, только приступающему к изучению истории этой науки, автор желал бы предложить свой труд в виде поощрения и основы для дальнейших исследований, в соответствии с чем он охотно назвал бы свою книгу «*Введением в историю физики*», если бы не имел в виду еще другой цели. Появление многочисленных сочинений по истории культуры, рассчитанных на обширный круг читателей, указывает на возрастание в образованной среде интереса к этим вопросам; равным образом и в популярных физических работах историческим сведениям теперь обыкновенно отводится довольно значительное место. Однако полного изложения истории физики, доступного общему пониманию, пока не существует. Автор был бы поэтому очень рад, если бы его труд пополнил указанный пробел и способствовал распространению сведений о ходе развития нашей науки в широких кругах. Это-то и побудило его заменить упомянутое только что заглавие, подразумевающее дальнейшее изучение предмета, нынешним, не заключающим в себе подобного указания.

Сказанным выше автор свои намерения изложил. О том, чего он достиг, будет судить читатель. Трудность поставленной задачи была автору ясна; в своих силах он тоже был не слишком уверен. Прося снисхождения читателя к своему труду и к себе лично, он представляет свою работу на его благожелательный суд.

Если приговор окажется не слишком суровым, то вслед за этим первым выпуском появятся два других. В первом будет изложена история физики примерно до 1750 г., а во втором — до новейшего времени.

Франкфурт, март 1882 г.

Д-р Фердинанд Розенбергер.

¹ Упоминаемые здесь синхронистические таблицы будут в настоящем переиздании приложены к третьему тому. Ред.

30 ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ ЛИТЕРАТУРА.

Автор по многим причинам воздерживался от излишних цитат в тексте. Чтобы восполнить этот пробел, он приводит перечень сочинений, которыми он преимущественно пользовался:
Montucla, Histoire des Mathe'matiques, 1758 und 1802.

Kastner, Geschichte der Mathematik, 1800.

Fischer, Geschichte der Physik, 1805 bis 1808.

Poggendorff, Geschichte der Physik, 1879.

Whewell, Geschichte der inductiven Wissenschaften, übers. v. Litrow, 1840

Wilde. Geschichte der Optik, 1838.

Duhring, Geschichte der Principien der Mechanik, 1877.

Libri, Histoire des sciences math. en Halie, 1835 du 1841.

Suter. Geschichte der mathematischen Wissenschaften, 1873 bis 1875.

Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik, 1880.

R. Wolf, Handbuch der Mathematik und Physik, 1869 bis 1872.

Lange, Geschichte des Materialismus, 1876 bis 1877.

Lewes, Geschichte der Philosophic, 1880 bis 1881.

Ueberweg, Grundriss der Geschichte der Philosophie. 1880 bis 1881.

Draper, Geschichte der geistigen Entwicklung Europas, 1865.

Kopp, Geschichte der Chemie, 1843.

Kopp, Beitrage zur Geschichte der Chemie, 1869 und 1875.

I. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ДРЕВНИХ ВЕКОВ

(Приблизительно от 600 г. до н. э. до 700 г. н. э.)

Древняя физика является почти исключительно физикой греков. Индийцы, халдеи, египтяне, правда, раньше их начали размышлять над явлениями природы, но до θεωρία φύσις, до науки о природе, они не могли прийти, потому что их религиозно-мистические воззрения не могли их привести к мысли о естественной закономерности явлений. Египтяне и халдеи передали грекам ценные астрономические наблюдения и несколько важных математических положений, но только греки применили эти данные для развития реальных наук. Учителя не сумели извлечь пользы из своих открытий, невзирая даже на пример греков, и ни разу не пытались объяснить явления природы в их причинной связи. Напротив, везде, где восточные ученые сталкивались с греческой наукой, они примешивали к ней мистические элементы, таинственные сверхъестественные силы. В числовой мистике пифагорейцев сказывается халдейское происхождение; неоплатоническую философию, основанную александрийским евреем Филоном, признают смесью учения Платона с восточным мистицизмом, а первоначальное развитие астрологии и алхимии прямо приписывается халдеям и египтянам. Только свободному гению греков, искавшему всюду познаваемую связь явлений, удалось по силам основать науку о природе, и ему же исключительно принадлежит создание древней физики. Римляне, этот второй культурный народ древности, очень мало сделали в области естествознания. Ум их был сам по себе достаточно трезв, чтобы уберечь усвоенную ими науку от темных, сверхъестественных влияний, но им не доставало теоретического интереса, стремления к истине ради нее самой. Занятие науками, не приносившими непосредственной пользы, казалось истым римлянам пустой тратой времени. Поэтому они предоставили разработку естествознания своим учителям — грекам, стараясь только извлекать возможную выгоду из добытых последними результатов. То, что Цицерон в своих «Тускуланских беседах» высказал по поводу греческого взгляда на математику, наглядно показывает отношение римлян и к другим наукам: «В величайшем почете была у греков геометрия, и никого не ставили они выше математиков; мы же преимущественно ценим в этой науке искусство счисления и измерения».

При обсуждении заслуг греков в области физики не следует забывать, что мы имеем здесь дело с *начатками науки*. Иначе,

32 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВНЕЙ ФИЗИКИ

как это много раз случалось, наше суждение будет ошибочным. Между физикой греков и нашей — целая пропасть, не столько по *материалу*, сколько по способу его *обработки*. Замечательно, что у древних мы находим все специальные отделы физики разработанными до известной степени или, по крайней мере, намеченными; на первом месте стоят у них рассуждения об общих свойствах материи, механика и оптика; на втором — акустика и учение о теплоте; относительно магнетизма и электричества им известен, по крайней мере, факт притяжения магнитной руды и натертого янтаря. Только *метод исследования* у них совсем не тот, который мы ныне называем физическим в собственном смысле.

Греков наводят на физические исследования привлекательное для всех зрелище звездного неба, смена времен года, атмосферные явления; значительно развитая и занимавшая выдающееся место на всех национальных торжествах музыка; доведенная до значительного совершенства живопись; машины, употребляемые при художественных сооружениях, и, наконец, в не меньшей степени, вся совокупность загадочной жизни органической природы. Их изумительно сильный ум побуждает их искать и дает возможность найти объяснение для всех явлений природы и открыть между ними закономерную связь.

К своей цели они стремятся двояким путем. Либо они пытаются дать общие законы, из которых с логической последовательностью может быть выведена естественная закономерность явлений, — это метод *натурфилософии*, господствовавшей до Аристотеля включительно. Или же они пытаются уяснить себе свойства сложных явлений при помощи математической дедукции, приняв за исходную точку простые и не требующие доказательств положения, — таков метод *математической физики*, главным представителем которого является Архимед. Вернейший путь ускользнул, однако, от их внимания, именно метод *физического наблюдения* в собственном смысле. Изучая физические явления в том виде и в том месте, где они их находили, греки никогда не думали о надежном способе воспроизведения этих явлений, не давали себе труда проверить свои выводы новыми наблюдениями и не пробовали расчленять сложные явления посредством опытов, расположенных по известному плану и подчиненных известным условиям, с целью найти прочное основание для своих объяснений. Короче сказать: *опытное исследование* — вот, что отделяет новейшую физику от древней. Пояснения этого положения будут приведены в нижеследующих отделах.

1. Физика как чистая натуральная философия

(Приблизительно от 600 до 300 г. до н. э.)

Первыми физиками были греческие натурфилософы, которые пытались разрешить старую проблему о происхождении мира и о совершающихся в нем изменениях не прежними мифологическими баснями, а естественным путем. Доискиваясь начала всех вещей, т. е. материи или вещества, из коего произошло все видимое, и деятеля, обуславливающего все видимые изменения, они с детской доверчивостью надеялись сразу изгнать все загадочное из мироздания. Предприятие это, конечно, безнадежное, но заманчивое. Невзирая на многочисленные неудачи, даже и в наши дни смелые философы пробуют рассечь узел одним взмахом, и масса по-прежнему идет к ним с надеждою и сочувствием. Для науки древних эта высокая цель принесла *положительную пользу*, возбуждая живой интерес к природе, но вместе с тем и *положительный вред*, отклоняя внимание от правильного пути, ведущего от изучения частного к объяснению целого.

Греческий ум отличается особенной силой творчества в области гипотез. Он, можно сказать, почти исчерпал все мыслимые теории для объяснения вселенной, так что наши современные

гипотезы можно признать как бы непосредственным продолжением неудавшихся попыток древних. Я, конечно, не имею в виду Иделера, открывшего у Аристотеля волновую теорию света, или Швейгера, который на мифе о диоскурах строит предположение о точном знакомстве древних с обоими видами электричества,

и т. д. Мне хотелось бы здесь только указать на *учение пифагорейцев о движении земли и на атомистику Демокрита*. Тем не менее, и в древности уже успели убедиться, что философия неспособна оправдать возлагаемых на нее надежд, и за этим последовала двоякая реакция. Философия отвернулась от природы и стала, с одной стороны, *скептицизмом*, провозгласившим устами софистов невозможность познания, с другой — *идеалистической философией*, относившейся с презрением к изучению природы. *Платон*, страстный поклонник чистой математики, не хочет слышать даже о практической астрономии, заявляя: «Истинных астрономов я признаю мудрецами, но к ним причисляю не тех, которые, подобно Гезиоду и другим сходным с ним звездочетам хотят служить науке, наблюдая восход и закат светил, а людей, исследующих восемь сфер небесных и великую гармонию вселенной — единственный предмет, достойный и приличный для человеческого ума, просвещенного богами».

34 ФИЗИКА КАК НАТУРФИЛОСОФИЯ

Однако греческий ум, полный живого интереса к естественным явлениям, не мог долго оставаться вне общения с природою. Уже в лице Аристотеля, величайшего из учеников Платона, греки вернулись к ней с обновленными силами — правда, все еще со старой манерой объяснять мир, исходя из определенных начал, но зато с бо́льшим против прежнего стремлением руководиться данными наблюдения. *Аристотель олицетворяет собой величайший триумф греческой натурфилософии, но, с другой стороны, с ним и прекращается единовластие философии в области естественных наук.* Его преемники проявляют мало творчества; они довольствуются развитием и изложением существующих теорий; вся *натурфилософия* приходит в постепенный застой и заканчивает свое существование в виде простой истолковательницы древних мыслителей. Зато в физику проникает новая наука — *математика*. В школах пифагорейцев и платоников, по преимуществу, последняя достигла такого развития, что математики не только отделились от философов, но и успели захватить другие области для приложения своей науки. Невзирая на протест Платона, видевшего в прикладной математике унижение чистой науки, математикою пользуется астрономия, и вскоре после Аристотеля начинается ее *приложение к физическим проблемам*, обозначающее собою наступление *второго периода греческой физики*.

ФАЛЕС МИЛЕТСКИЙ (640—550 до н. э.) — первый греческий физик, один из семи мудрецов Греции и основатель ионийской философской школы. Уже в немолодых летах он отправился в Египет для изучения египетской мудрости и умер в 550 г. от старческой слабости, присутствуя на олимпийских играх. Его известное изречение: *«Начало всех вещей — вода, из воды все происходит и все возвращается к воде»*, по замечанию Аристотеля, вызвано, вероятно, наблюдением, что пища и семя по своей природе влажны. Льюис в своей истории философии замечает, что изречение это согласуется с теогонией Гезиода, по которой Океан и Фетида считаются родоначальниками всех богов, имеющих отношение к природе. По мнению Дрэпера («История умственного развития Европы»), подобное учение могло, всего скорее, возникнуть в Египте, где плодородие земли находится в прямой зависимости от нильских вод.

Аристотель приписывает Фалесу знание *притягательной силы магнита*. Другие утверждают даже, что ему было известно *притяжение янтаря при трении*. Этим ограничиваются наши сведения о физических познаниях Фалеса.

Что касается его астрономических открытий, то никто не решит, конечно, сколько из них следует отнести на долю его учителей — египтян, сколько принадлежит лично ему и сколько его преемникам. До нас не дошло ни одного из сочинений Фалеса или его учеников, и все сведения о нем почерпнуты из позднейших источников. Фалесу приписывают: *разделение небесного свода на пять поясов; открытие наклона эклиптики; определение видимой величины луны, которая, по его наблюдениям, составляет $\frac{1}{720}$ целой окружности; учение о шаровид-*

ИОНИЙСКИЕ НАТУРФИЛОСОФЫ 35

ности земли и ее неподвижном положении в центре меленной. Несомненно одно, что он предсказал *солнечное затмение* (585 до н. э.)¹, для чего, по всей вероятности, он воспользовался так называемым саросом, периодом затмений в $6585\frac{1}{2}$ дней, вычисленным вавилонянами на основании долголетних наблюдений.

Льюис оспаривает пребывание Фалеса в Египте и вообще сомневается в египетском источнике его знаний, но вряд ли основательно. Философия могла, пожалуй, иметь в нем своего единственного родоначальника, но невероятно, чтобы он, без всяких предшественников в математике и астрономии, один мог приобрести все те познания, которые приписывает ему древность. Во всяком случае, против Льюиса говорит то обстоятельство, что Египет был открыт для чужеземцев в 670 г. Псаметихом и что в конце того же столетия в Греции как бы внезапно расцвели три новые науки — философия, астрономия и математика — в лице одного человека.

Преемником Фалеса по ведению ионийской школы был *АНАКСИМАНДР* (610—547 до н. э.), тоже милетский уроженец. Анаксимандр считал началом всех вещей *первичное вещество, качественно неопределенное и бесконечное, из коего выделяются первоначальные противоположности тепла и холода, сухости и влажности*. Из влажного начала произошла земля, и из него же развились постепенно, под влиянием тепла, растения и животные; последние были сначала рыбообразными и лишь с постепенным высыханием земли они приняли другие формы.

Второй преемник Фалеса, *АНАКСИМЕН МИЛЕТСКИЙ* (около 550 г. до н. э.) возвращается к качественно определенному, но зато количественно бесконечному первоначальному веществу, а именно — к *воздуху*. Все тела произошли из воздуха, потому что от сгущения воздух превращается в воду, а вода в землю, через разрежение же из воздуха происходит огонь. Все существа вдыхают воздух, живут им и в него, в конце концов, возвращаются. При всех разногласиях, старшие натурфилософы ионийской школы имеют между собою то общее, что они признают *единое первоначальное вещество, которое превращается во все другие вещества и из которого развивается все*. Эта идея развития тем интереснее, что в скором времени должно возникнуть противоположное ей учение элейской школы.

Относительно астрономических заслуг двух последних философов существует та же неопределенность, как и относительно Фалеса. Некоторые приписывают им множество открытий, очевидно, заимствованных у египтян и халдеев. Таковы: *изобретение гномонов* (отвесных столбов на горизонтальной плоскости, тень которых служит для определения полудня) и связанное с этим изобретение *солнечных часов*; построение глобусов (сна которых были начертаны астрономические круги) и *географических карт*. Другие, наоборот, отрицают у древних ионийцев всякое здоровое понятие о физической астрономии, приписывая им представление о фигуре земли в виде *диска* или *цилиндра*, который, по

¹ Астрономы Эри и Гайнд вычислили, что оно должно было произойти 28 мая.

36 ПИФАГОР

Фалесу, плавает на воде, по Анаксимену, — в воздухе и окружен хрустальным небосводом, на котором звезды прикреплены наподобие золотых гвоздей.

ПИФАГОР САМОССКИЙ (582—500 до н. э.) был, по-видимому, учеником Фалеса или Анаксимандра, или, по крайней мере, знал их обоих. После долгих путешествий, преимущественно по Египту ¹, он основал в Кротоне, у Тарентского залива, школу и философско-политический тайный союз. В этот союз не допускался никто без продолжительного и строгого испытания. Поступающий осуждался на пятилетнее молчание, и только когда его способность самоотречения бывала достаточно доказана, он мог быть введен в святилище науки и принят в общество. Невзирая на такие суровые условия, общество быстро разрасталось и приобрело политическую власть над Кротонем и многими греческими городами, чем и возбудило зависть и вражду противных партий. Пифагорейцы и их владычество были, наконец, низвергнуты после сильных смут. По мнению одних, сам Пифагор погиб в этих столкновениях; по мнению других, он бежал в Метапонт и здесь в храме муз умер добровольной голодной смертью.

Характер тайного союза был причиной того, что сохранилось *мало достоверного об учении Пифагора и его школы*. Все наши сведения заимствованы из позднейших источников, ненадежны, смутны и содержат много сказочных примесей. Судя по тому, что дошло до нас, учение пифагорейцев трактовало не *столько первоначальное вещество, сколько распределение вещей в природе, их число и меру*. Аристотель, который всегда приводит мнения предшественников, говорит, что пифагорейцы искали и думали найти аналогию всего существующего и происходящего скорее в числах, чем в огне, земле или воде; они пришли к заключению, что *элементы чисел тождественны с началами вещей*. Эта основная мысль заставляла их искать всюду числовые законы и распределять все согласно последним, но в то же время она побуждала их приписывать известные свойства (каковы совершенство, несовершенство, бесконечность и конечность) самим числам. Таким-то путем пришли они к тому мистическому числовому учению, которое впоследствии в соединении с астрологией продержалось до средних веков. Пифагорейцы имеют перед физикой меньше заслуг, чем этого можно было ожидать, судя по их математическому направлению; их философия была математической, но их математика находилась под слишком сильным влиянием мистического начала.

Один только физический закон неоспоримо принадлежит школе Пифагора, хотя и здесь способ открытия его искажен баснями. Проходя мимо кузницы, где несколько рабочих ковали железо, Пифагор подметил, что молоты издавали гармонические тоны, именно: октаву, квинту и кварту. Войдя в кузницу, он убедился, что различие тонов зависело от различного веса молотков, именно, что самый легкий имел $\frac{1}{2}$, следующий $\frac{2}{3}$ и, наконец, последний $\frac{3}{4}$ веса наиболее тяжелого молота. По возвращении домой, Пифагор подвесил четыре шнура равной тол-

¹ Кантор («Gesch. d. Math.») считает пребывание Пифагора в Египте несомненным, а в Вавилонии вероятным.

ПИФАГОРЕЙЦЫ 37

щины и к ним привязал гири одинаковых весовых отношений с молотками кузницы. Шнуры эти при ударах давали те же музыкальные интервалы, как и молоты, и Пифагор мог, таким образом, свести *гармонические интервалы к числовым отношениям*. Последнее, по свидетельству древних, не подлежит сомнению, так как гармонические отношения играют у пифагорейцев выдающуюся роль; но описание, конечно, неверно. Во-первых, наковальня, как и колокол, при ударах различными молотами издает постоянно один и тот же тон, во-вторых, струны издают указанные выше тоны, когда их длины, а не натягивающие их гири, находятся в указанном выше отношении¹. Впрочем, у других можно найти прямые указания на то, что пифагорейцы верно определили связь между гармоническими интервалами и длинами струн и тем положили *научное основание для одной части акустики, именно для учения о гармонии*. Пифагора даже упрекают в том, что он признавал созвучиями только октаву, квинту и кварту, отвергнув столь приятно звучащую терцию, вследствие большей сложности ее числового отношения. Первая рукопись из среды самих пифагорейцев принадлежит *Филолаю*, современнику Сократа (470—399). К сожалению, от нее уцелели лишь отрывки, подлинность которых притом довольно сомнительна. Из этих отрывков можно, тем не менее, составить себе довольно ясное представление о *системе мира пифагорейцев*. Они первые учили (если не принимать в расчет притязаний представителей ионийской школы), что земля шарообразна, «но не на основании математического убеждения, а на основании требований геометрической гармонии; доискиваясь совершенства в творении, они и земле придали наиболее совершенную форму». В центре вселенной пифагорейцы поместили чистейшее из всех веществ — *огонь*, а вокруг этого центрального пламени *заставили вращаться на гармонических расстояниях противоземлю, луну, солнце, Меркурия, Венеру, Марса, Юпитера, Сатурна* и сферу неподвижных звезд. Так как обитаемая половина земли была постоянно отвращена от центрального огня и противоземли, то последние оставались невидимыми для людей; солнце же и луна отражали им образ центрального пламени. По примеру Аристотеля, пифагорейцев обвиняли в том, что они придумали противоземлю для пополнения мистического числа десяти мировых сфер. Пешель («История географии») обращает внимание на то, что вследствие преломления лучей сияющее солнце и затемненная луна могут, по-видимому, наблюдаться стоящими друг против друга (при так называемых горизонтальных затмениях), причем затмение луны не может быть объяснено без знания рефракции, и полагает, что пифагорейцы прибегли к центральному пламени и противоземле для объяснения затмений. Одновременно с Филолаем пифагореец *Гикет из Сиракуз* пропагандировал ту же систему вселенной. На счет воззрений Платона спорили много, но без надежных результатов. Один из учеников его *Гераклид Понтский* и пифагореец *Экфант* снова признали землю центром вселенной и стали объяснять вращение сферы неподвижных звезд движением земли вокруг своей оси. Гелиоцентри-

¹ Lewes, *Gesch. d. Philosophie*; Poggenodrf, «*Gesch. der. Physik*».

38 ЭЛЕАТЫ

ческая система в собственном смысле слова установлена впервые только Аристархом.

Третья из древнегреческих философских школ — *элейская*, начинающаяся с *КСЕНОФАНА* (569—477) и достигшая высшего развития при Пармениде (V век до н. э.), направлена против ионийского учения о развитии; она принимает в природе единое неизменно сущее и считает всякое возникновение и множественность призраком. Для нас элейцы заслуживают внимания по своему влиянию на последующих, так называемых *младших натурфилософов*, принимавших, в отличие от ионийской школы, *неизменяемость первоначального вещества*, а в отличие от элейской — *множественность элементов его*.

Первым из этих младших натурфилософов считается *АНАКСАГОР* (500—428 до н. э.) из Клазомен в Лидии. Любовь к науке рано заставила его покинуть родину для Афин, где он весь отдался изучению философии, причем до такой степени пренебрег имущественными своими интересами, что имел полное право сказать: «Я обязан философии своим материальным разорением, но зато душевным благополучием». К числу его учеников принадлежали знаменитейшие люди Греции — Перикл, Еврипид, Сократ. Это, быть может, и вооружило против него завистников, которые обвинили его в безбожии и приговорили к смерти. Периклу стоило большого труда добиться, чтобы смертная казнь была заменена Анаксагору ссылкой. Философ прожил до самой кончины в Лампсаке, утешая себя мыслью: «Не я лишился афинян, а афиняне лишились меня». Лампсакийцы поставили в честь его памятник с громкой надписью: «Здесь покоится Анаксагор, который достиг крайнего предела истины, познав устройство вселенной».

От главного сочинения Анаксагора: «О природе»¹ до нас дошло лишь несколько отрывков. Он не признает *превращения вещества* при видоизменении предметов и объясняет эти видоизменения *соединением и разъединением мельчайших, невидимых глазу, частиц материи*. «Греки ошибочно предполагают, будто что-либо начинается или прекращается; ничто не возникает вновь и не уничтожается; все сводится к сочетанию или разъединению вещей, существовавших от века. Вернее было бы признать возникновение сочетанием, а прекращение разъединением». *Мельчайших, невидимых глазу частиц* (σπερματα, семенами называет их Анаксагор, ομοιομερεϊα называет их позднее Аристотель) существует бесконечное множество, и все они — *непреходящие и неизменные первоначальные вещества, отличающиеся друг от друга по форме, цвету и вкусу*. Всякое вещество состоит из особых однородных между собой начал — огня, золота, крови и т. д. Вначале элементы эти были беспорядочно перемешаны; вселенная возникла после того» как Novζ, т. е. дух, разум, распределил и соединил между собой незримо малые частицы. Место Novζ в природе темно: это — движущее начало, сила, в противоположность материи. При этом Анаксагор, однако, принимает, что простые движения могут быть выполнены материей самостоятельно; поэтому Платон и Аристотель

¹ περὶ φύσεως.

МЛАДШИЕ НАТУРФИЛОСОФЫ 39

обвиняют Анаксагора в том, что он призывает *Novζ* на выручку, когда другие объяснения не приводят его к цели.

Одно замечание в платиновом «Федоне», которое он влагает в уста Сократу, настолько характерно, что мы приведем его здесь: «Я слушал человека, читающего книгу, которая, по его словам, была написана Анаксагором. Когда он читал, что разум всем управляет и все созидает, я был весьма утешен этим объяснением и был рад признать разум причиной всего. Так думал я и готовился приветствовать в Анаксагоре учителя, который объяснит мне смысл явлений; научит, во-первых, плоска ли или шаровидна земля, и докажет, почему это так, указав цель, с точки зрения которой всего лучше, чтобы земля имела данную форму. Если же он скажет, что она лежит в центре, то он и докажет, что действительно это положение всего целесообразнее. В таком случае мне не придется дальше искать никакой другой причины. Однако, друг мой, мне пришлось расстаться с этою отрадною надеждой после того, как дальнейшее чтение открыло мне, что Анаксагор не делает никакого употребления из разума, не указывает истинных причин для распределения отдельных явлений в строгом порядке, а напротив того, признает воздух, эфир, воду и много других неподходящих вещей причиной всех вещей».

Весьма интересны и до сих пор не разъяснены с точки зрения их происхождения воззрения Анаксагора на строение мира. В центре вселенной, по его мнению, покоится земля; солнце и звезды — раскаленные каменные массы, которые удерживаются от падения только вращением небосвода. Солнце гораздо больше всего Пелопоннеса, да и луна настолько велика, что на ней умещаются горы и долины; свет свой она получает от солнца.

Обманчивость наших чувств была уже известна элейцам. Анаксагор приписывает цвета тел только нашему ощущению, и, чтобы выразить это как можно резче, он провозглашает парадокс: «снег черен».

ЭМПЕДОКЛ ИЗ АГРИГЕНТА (492—432 до н. э.), молодой современник Анаксагора, разделяет отчасти взгляды последнего. В книге «О природе» он говорит: «Безумцы полагают, что может возникнуть что-либо никогда не бывшее или погибнуть, исчезнуть без следа что-либо существующее. Я постараюсь открыть вам истину. В природе нет возникновения того, что может умереть; нет полного уничтожения; ничего, кроме смешения и разъединения сочетанного. Только невежды называют это рождением и смертью». В основу этих изменений Эмпедокл *не кладет, однако, подобно Анаксагору, бесконечного множества первичных веществ, а лишь четыре стихии или «корня»: землю, воду, воздух, огонь*. Стихии эти *неизменны* и не способны ни возникать одна из другой, ни переходить друг в друга. Из их-то смешения и разъединения происходит все. Движение стихий обуславливается *двумя противоположными силами: любовью и враждой*. «То все стремится к слиянию воедино силой любви, то единое расторгается непримиримой враждой». В этих соединяющих и разъединяющих влияниях любви и вражды некоторые были склонны видеть прообраз понятия о центростремительной и центробежной силе или, по крайней мере, соединить эту теорию с аристотелевским представлением о легкости и

40 АТОМИСТЫ

тяжести тел. Однако, и то и другое неосновательно. На самом деле, Эмпедокл только потому разделил надвое единую вседвижущую силу Анаксагора, что ему казалось невозможным объяснить действием одной и той же силы два совершенно противоположных движения.

Чувственные восприятия Эмпедокл объяснял существованием *тончайших истечений* из тел и существованием в *органах чувств скважин*, воспринимающих те или другие эманации, смотря по своей форме. От светящихся тел направляются истечения к глазу, а из глаза исходят истечения по направлению к телам. От встречи обоих истечений возникает изображение предметов. *Звуки* возникают вследствие проникновения истечений в трубообразный слуховой проход, *запахи и вкусы* — вследствие проникновения мельчайших частиц в соответственные органы.

О жизни Эмпедокла известно мало определенного. На основании позднейших источников рассказывают, будто он увлекался ролью чудотворца и пророка, любил расхаживать в одежде жреца: он появлялся в золотом поясе и дельфийской короне, окруженный многочисленной толпой слушателей. Гораций говорит: «Эмпедокл хладнокровно бросился в пылающее жерло Этны, чтобы прослыть божеством, существом бессмертным». Но легенда прибавляет, что гора извергла назад железные сандалии, показав этим, что исчезло мнимое божество.

ДЕМОКРИТ АБДЕРСКИЙ (460—370 или 360 до н. э.) и его старый друг и учитель *Лейкипп* обыкновенно упоминаются вместе. Лейкипп, как уверяют, еще в 500 г. создал *атомистическую теорию мира, которую окончательно разработал Демокрит. Согласно этому учению, вселенная состоит из пустого пространства и бесконечного множества неделимых мельчайших частиц — атомов, отличающихся не качественно (как у Анаксагора), а лишь по своему очертанию, положению и распределению. Тела возникают и исчезают лишь путем сочетания и разъединения атомов, так как из ничего не может произойти ничего, и ничто существующее не может исчезнуть. Движение атомов обуславливается не влиянием какой-либо внешней, независимой от них, силы, а действием силы, присущей им самим от века. А именно все атомы находятся в состоянии постоянного падения в бесконечном пространстве; при этом движении крупные атомы падают быстрее мелких, наталкиваются на них и производят боковые движения, или вихри, при посредстве которых атомы сплавиваются в тела. Эти вихри лежат в основе образования вселенной. Что касается спорного вопроса о пустоте пространства, то Демокрит (по словам Аристотеля) приводит в его пользу следующие доказательства: возможность движения в пространстве; возможность разрежения и сгущения тел; рост тел, происходящий благодаря проникновению пищи в скважины тела, и, наконец, странным образом, неправильное наблюдение, будто стакан, наполненный золой, вмещает в себе воды меньше объема, незанятого золою.*

В вопросе о *чувственных восприятиях* Демокрит разделяет взгляд Эмпедокла. Только по поводу зрения он еще резче восстает против господствовавшего тогда учения о лучах, исходящих из глаза и как бы ощупывающих предмет. Демокрит говорит определенно, что *зрение*

АТОМИСТЫ. МЕТОН 41

обуславливается падением ни поверхность глаза мелких атомов, исходящих от светящегося предмета; он полагает, что предметы дают постоянно изображения ($\epsilon\iota\sigma\omega\lambda\alpha$), применяющиеся к окружающему воздуху и проникающие в душу через поры органов чувств. Теория истечения света пользовалась этой мыслью до новейшего времени для объяснения обращения изображений при зеркальном отражении.

Демокрит употребил свое значительное состояние на продолжительные путешествии по Египту и Азии, так что он имел право говорить о себе: «Среди своих современников я объездил наибольшее число стран, исследовал отдаленнейшие явления, видел обширнейшие пространства неба и земли, слышал наибольшее число ученых, а в сочетании линии и в относящихся к тому доказательствах меня не превзошел никто, даже *египетские землемеры*, с которыми я в течение пяти лет имел постоянное общение на чужбине». После этих путешествий Демокрит, удалившись от всяких дел, жил до самой смерти в своем родном городе. От многочисленных сочинений его до нас дошли лишь незначительные отрывки.

От Анаксагора через Эмпедокла к Демокриту замечается постепенное развитие механистического мировоззрения. Анаксагор принимает еще качественное различие элементов и допускает, что некий божественный дух, хотя и почти механически, влияет на движение. Эмпедокл сводит указанные качества только к четырем и делит единую сверхъестественную силу на две, уже чисто механические, а Демокрит прямо отвергает всякое качественное различие атомов и всякую силу, лежащую вне их. *Механистическая теория мира достигает, таким образом, в Демокрите высшей точки своего развития, но вскоре находит могущественное противодействие в телеологических взглядах Аристотеля*, энергичного противника теории атомов и пустого пространства. Однако вопреки его авторитету, эпикурейцы, а также — хотя и в меньшей степени — стоики продолжали разрабатывать атомистическую теорию, получившую, наконец, в современной физике почти бесспорное господство. Это учение представлено у нас, правда, не совсем в прежней форме, но все же оно явственно сохраняет древние демокритовские черты.

МЕТОН и *ЕВКТЕМОН* (432 до н. э.) исправили греческий календарь. Именно, они нашли, что 19 лет равны по времени 235 обращениям луны (синодическим месяцам), и распределили, по довольно сложной системе, 6940 ($365\frac{1}{4} \cdot 19$) целых дней на 19 лет. По их календарю луна с каждым новым годом представлялась почти в той же световой фазе, и деление времени согласовалось, таким образом, с движением солнца и луны, — условие, которого греки до того напрасно добивались от своих календарей. Получаемый этим путем 19-летний период называют *метоновским*, и числовую последовательность лет этого цикла до сих пор обозначают в календарях золотым числом. Тем не менее, метоновский календарь заключал в себе одну существенную неточность: если даже принять год круглым числом в $365\frac{1}{4}$ дней, то период в 3940 дней оказывается на 6 часов длиннее продолжительности солнечного обращения, а по сравнению с лунным — даже на $7\frac{2}{3}$ часов.

42 МЕХАНИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ. ТЕОРИИ ПЛАНЕТ

По этой причине Калипп 100 лет спустя еще раз исправил греческий календарь, посоветовав исключить один день в четвертом периоде. Полученный, таким образом, цикл в $4 \cdot 19 = 76$ лет называется *калиппическим периодом*.

Физические теории ПЛАТОНА (429—347 до н. э.) (изложенные в диалоге «Тимей») *имеют мало значения*: согласно ним, земля покоится в центре вселенной; планеты следуют друг за другом в расстояниях, соответствующих гармоническим отношениям тонов; элементы огня имеют форму тетраэдров, элементы воздуха — октаэдров, воды — икосаэдров, а элементы земли — кубов. Этим элементам соответствуют четыре области: ниже всех лежит наиболее тяжелая стихия — земля; затем следуют вода, воздух и огонь. Каждая стихия стремится занять свое место, и тела следуют движению преобладающего в них начала: камень падает на землю, огненные пары поднимаются вверх.

Современник Платона, пифагореец *АРХИТ* (430—365 до н. э.; уроженец Тарента), по-видимому, первый ввел определенный метод в механику. Платон ставит ему в упрек приложение математики к решению механических задач и механики — к решению геометрических построений. Ему приписывают изобретение блока, винта и автомата (летающего голубя). Более подробных сведений о его механических работах, к сожалению, до нас не дошло.

ЕВДОКС КНИДСКИЙ (408—355 до н. э.). Евдокс ученик Платона, был первым астрономом древности, *искавшим научного объяснения для запутанного движения планет*. Ионийцы и пифагорейцы принимали для каждой планеты особую сферу, полый шар, при посредстве которого она двигалась вокруг земли. От их внимания не могли ускользнуть разнообразные неправильности планетных путей, неравномерное их перемещение по небесному своду, то ускоренное, то замедленное, и, наконец, обратное «движение верхних планет. Но, несмотря на все это, они упорно отстаивали *необходимость равномерного кругового движения* для всех небесных тел, потому что только такое движение казалось им достойным неба. Платон предложил своим ученикам заняться разрешением этой проблемы, и Евдокс с поразительной изобретательностью придумал объяснение. Он предположил, что каждая планета укреплена на прозрачной шаровой оболочке, вращающейся у полюсов и заключенной в другой такой же концентрический шар, который, в свою очередь, заключен в третий, и т. д. Каждая из сфер вращается равномерно вокруг своей оси в свойственном ей направлении, а из совокупности вращательных движений всех шаровых оболочек в различных направлениях складывается собственное неравномерное движение столь причудливо укрепленной планеты. Для каждой планеты требовалось вообще 4 сферы: первая для дневного движения совместно с неподвижными звездами, вторая для изменения долготы, третья для изменения широты и четвертая для обратного движения планеты. Для солнца и луны Евдокс принимает по три шаровых оболочки, так как на них не замечалось действия четвертой. Но и при этом пришлось допустить внушительный сонм в 26 сфер для обращения планет, независимо от сферы неподвижных звезд. Невзирая на сложность этой гипотезы, она имела успех, так что даже Аристотель и вышеупомянутый

ГРЕЧЕСКАЯ НАТУРФИЛОСОФИЯ ПРИ АРИСТОТЕЛЕ 43

Калипп не только допускали ее, но и старались ее усовершенствовать. Калипп увеличил число сфер до 33, а Аристотель до 55 ¹.

Евдокс был, очевидно, превосходным наблюдателем. Уверяют, что он долгое время жил в Египте и производил свои наблюдения в Гелиополисе. Долгое время после его смерти еще показывали в Каире башню, служившую ему обсерваторией.

АРИСТОТЕЛЬ (384—322) родился в *Стагире*, городе северной Греции, у Стримонского залива. В детстве он вместе с отцом (врачом Никомахом) переселился в Пеллу, ко двору македонского царя Аминта, и здесь познакомился с будущим царем Филиппом, расположение которого оказалось для него впоследствии столь полезным. Пребывание в Пелле не могло, однако, быть продолжительным. Когда Никомах умер, оставив сыну значительное состояние, ученая слава Платона увлекла 17-летнего юношу, и он отправился учиться в Афины. В Афинах Аристотель оставался 20 лет, т. е. до смерти Платона, с которым он находился в постоянном общении. Затем он пробыл некоторое время при дворе своего бывшего слушателя, атарнейского владетеля Гермия, и женился на его приемной дочери Пифии, после того как Атарней был захвачен персами, а владетель изменнически убит. Из Митилен, куда спасся Аристотель, его вскоре вызвал македонский царь Филипп, желавший поручить ему воспитание своего 14-летнего сына Александра. Если судить по словам последнего: «Я чту Аристотеля наравне со своим отцом, так как если я отцу обязан жизнью, то Аристотелю обязан всем, что дает ей цену», — то между знаменитым учителем и великим учеником должны были существовать весьма хорошие отношения. Однако последние продолжались в таком виде не более 4 лет, именно до вступления Александра на престол. Затем Аристотель оставался в Македонии еще 3 года, до первого похода Александра в Персию. Около 355 г. он вернулся в Афины и здесь, в Ликейоне, основал свою знаменитую философскую школу, которая получила название перипатетической, вероятно, по тенистым аллеям (*перипатой*), где Аристотель любил читать свои лекции. Тринадцать лет излагал он здесь свое учение перед многочисленной толпой ревностных слушателей. За тем антимакедонская партия в Афинах возвела на него обвинение в оскорблении богов, и Аристотель добровольно покинул город, «желая избавить сограждан от вторичного преступления против философии» ². Аристотель поселился в Халкиде на о. Эвбее и здесь вскоре умер (322).

Аристотель был небольшого роста, худощав и отличался некоторой внешней изысканностью. В разговоре он был склонен к сарказму. Заслужен ли, однако, отзыв Бэкона Веруламского: «Аристотель, подобно восточному деспоту, душил своих противников», более чем сомнительно. Значительное состояние и содействие (могущественного ученика дали ему возможность собрать значительную библиотеку, которую впоследствии Птолемей Филадельф купил для александрийского музея. Впрочем, подлинные рукописи Аристотеля, однако, не

¹ «Zeitschrift f. Math. u. Phys.», XXII Jahrgang, *Schiaparelli*, Ueber die homocentrischen Sphären des Eudoxus, Kalippus und Aristoteles.

² Сократ.

44 МЕХАНИКА

попали в александрийскую библиотеку, а были позднее привезены Суллой в Рим, где Андроник Родосский примерно в 70 г. до н. э. издал в свет, по крайней мере, чисто научные сочинения Аристотеля в том виде, как они дошли до нас. Лучшее издание их было предпринято в 30-х годах нашего столетия берлинской академией наук трудами Эм. Беккера.

Рассмотрим сперва физические теории Аристотеля, а затем уже перечислим вкратце его сочинения¹.

Природа есть совокупность физических тел, состоящих из вещества и находящихся в состоянии непрерывного движения или изменения. Всякое движение предполагает пространство и время. *Пространство сплошь заполнено материей; следовательно, не существует ни пустого пространства, ни мельчайших неделимых частиц материи или атомов.* В пустом пространстве, как в простом отрицании материи, невозможно ни определение, ни различие места; движение же предполагает различие места, значит, в пустом пространстве движение немыслимо.

Если мы будем искать начала чувственных, т. е. осязаемых вещей, то мы найдем не более *четырех противоположностей*, доступных ощущению и не выводимых из каких-либо других начал: *тепло и холод, сухость и влажность.* Они представляют собою первоначальные качества материи. Так как противоположности не могут быть соединены, то из попарного сочетания их получаются *четыре основных вещества*, именно: *жаркий и сухой огонь, жаркий и влажный воздух*²; *холодная и влажная вода, холодная и сухая земля.* Четыре вещества эти содержатся во всех телах либо в действительности, либо потенциально и могут быть выделены из всех тел. С другой стороны, они сами неспособны разлагаться на другие вещества, отсюда их и называют *стихиями или началами.*

Начала по природе своей легки или тяжелы. Земля абсолютно тяжелая, огонь абсолютно легкая стихия, воздух и вода относительно легки или тяжелы, смотря по их сочетанию с другими началами. Всем земным телам, рядом со свойственными им стихиями, присуща легкость или тяжесть. Все тела стремятся вниз к земле или вверх к небу и двигаются в этом направлении до тех пор, пока сопротивление другого тела не остановит их движения. Движения снизу вверх и сверху вниз поэтому естественны для тел и продолжаются до насильственного прекращения. Все же другие движения являются вынужденными или насильственными, порожденными толчком или давлением, и подобно теплоте прекращаются сами собой, когда исчезает поддерживающая причина. Естественные прямолинейные движения тяжелых и легких тел неравномерны, конечны и потому несовершенны. Совершенным же может быть названо только круговое движение, продолжающееся равномерно и однообразно во веки веков. Для осуществления этого совершеннейшего движения в природе находится еще пятое начало, которому круговое движение так же свойственно, как прямолинейное — земным

¹ Большею частью по Льюису, *Аристотель*, Лейпциг, 1865.

² Древние физики не умеют отличать различных видов воздуха, равным образом, не отличают паров от воздуха.

СТРОЕНИЕ МИРА 45

телам. Это — *эфир из которого состоит небо*, — *quinta essentia*. Сфера неподвижных звезд, которая по природе своей движется равномерно вечные времена, состоит из чистого эфира. Планеты уже смешаны с земными составными частями, потому-то их движениям недостает строгой правильности.

Земля, состоящая из более тяжелого начала, не может двигаться, а должна покоиться в центре вселенной. Она шарообразна. Выпуклость земной поверхности очевидна уже из того, что при путешествиях к северу или югу звезды поднимаются или опускаются над горизонтом; шаровидность земли доказана еще тем, что земная тень при лунных затмениях всегда кругла. Кроме того, земля должна иметь вид шара в силу естественных причин, так как все тела равномерно стремятся к ее центру, как к средоточию вселенной. *Окружность земли равна, по Аристотелю, 400 000 стадиям*, или около 9970 географическим милям (т. е. почти вдвое больше действительной). Как он пришел к этой цифре — неизвестно.

Относительно свободно падающих тел Аристотель знает, что они падают с постепенно возрастающей скоростью, но закон ускорения ему, разумеется, неизвестен. Точно так же неизвестно ему, что все тела падают с одинаковой скоростью в безвоздушном пространстве. Он предполагает поэтому, что *скорости различных тел при падении соответствуют их тяжести*: тело, которое вдвое тяжелее другого, падает и вдвое скорее. Такое определение довольно странно, потому что Аристотель знал о сопротивлении воздуха и легко мог объяснить замедленное падение некоторых тел этим сопротивлением. Но, с другой стороны, ему совершенно неизвестна косность (инерция) вещества при естественных движениях, и потому он не может придти к мысли, что сопротивление может уравнивать тяжесть большей массы и поддерживать равномерность скорости при свободном падении. С большими затруднениями Аристотель встречается при объяснении насильственных движений тел. Его удивляет, например, почему движение брошенного тела продолжается после того, как оно отделилось от бросившей его руки. В конце концов, он приходит к заключению, что брошенное тело оставляет после себя пустое пространство, в которое и устремляется воздух, сообщая телу новый толчок. Объяснение это, независимо от общей его неудовлетворительности, идет дальше своей цели и в механических проблемах снова приводит к вопросу: что же заставляет брошенное тело наконец остановиться?

Из простых машин Аристотель правильно объясняет действие рычага: *«Большим плечом рычага можно приподнять больший груз, потому что большее плечо производит большее движение»*; или *«Сила, приложенная на большем расстоянии от точки опоры, легче двигает груз, так как она описывает больший круг»*. В этих положениях дано не только доказательство закона рычага, но и намечен закон *сохранения силы*. Что Аристотель имел, хотя, конечно, отдаленное, предчувствие об этом законе, видно из другого места, где он утверждает, что *тела, у которых произведения весов на скорости равны, обнаруживают равное действие*. К сожалению, отрадное впечатление, произведенное верным определением действия рычага, испорчено про-

46 АКУСТИКА И ОПТИКА

странным исследованием, в котором философ, не довольствуясь доказательствами, что рычаг должен действовать именно так, как он утверждает, старается объяснить то, что ему кажется загадочным в этом действии, столь же загадочными свойствами круга.

Закон рычага — лучшая часть аристотелевской механики. Почти все остальное испорчено несчастной гипотезой абсолютно тяжелых и абсолютно легких начал, причем механика жидких тел пострадала еще больше механики твердых тел. Из этой гипотезы следует, что вода не может быть тяжелой по отношению к земле, а воздух — к воде, и что, следовательно, вода не может производить давления на землю, а воздух — на воду. Вот почему Аристотель для объяснения явлений присасывания должен изобрести *отвращение природы от пустого пространства*, *horrore vacui*, несмотря на то, что ему известна тяжесть воздуха и что он даже пробовал взвешивать последний.

Акустические и оптические явления рассматриваются Аристотелем при описании органов чувств. Рядом с множеством темных и неверных данных, рядом с пустым набором слов здесь встречается много точных наблюдений, много глубоких и верных мыслей, так что заслуги Аристотеля в этих областях следует поставить гораздо выше, чем в области механики. Звук происходит не вследствие того, что звучащее тело своим давлением сообщает воздуху известную форму, как думают некоторые, а оттого, что оно определенным образом приводит воздух в движение. Воздух при этом сжимается и растягивается и ударами звучащего тела проталкивается все далее и далее, отчего звук и распространяется во всех направлениях. «Не всякое тело дает при толчке звук; полые же тела звучат потому, что вслед за первым толчком они производят ряд других вследствие отскакивания, так как частицы, приведенные в движение, оторваться не могут. — Ни воздух, ни вода (когда звук распространяется через последнюю) не являются причиной звука; для образования последнего необходим удар твердых тел друг о друга и о воздух. — Воздух сам по себе беззвучен вследствие подвижности своих частиц, но если это передвижение встречает препятствие, то движение воздуха становится звуком. Воздух замкнут в полостях уха в состоянии неподвижности для того, чтобы можно было резко ощущать тончайшие различия движений». «Эхо возникает, когда воздух встречает на пути своего движения стену и отбрасывается назад подобно мячу».

При исследовании зрения Аристотель, подобно Демокриту, восстает против теории зрительных лучей, исходящих из глаза: «Если бы видение зависело от света, исходящего из глаза, как из фонаря, то почему бы нам не видеть в темноте? Предполагать, что свет гаснет, когда по выходе из глаза попадает в темноту, — бессмыслица». Прежние философы, присваивавшие каждому органу чувств особое начало, присвоили глазу огонь. Разделяя это воззрение вообще, Аристотель полагает, что по отношению к глазу следовало бы огонь заменить водой. «Орган зрения состоит из воды; орган, воспринимающий звуки, — из воздуха; орган обоняния — из огня; орган, служащий для осязания, — из земли, вкус есть род осязания. Глаз состоит из воды, но зрение зависит не от жидкого его состояния, а от прозрачности. Это

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ 47

свойство вода разделяет с воздухом, но она воспринимает и сохраняет образы лучше воздуха; вот почему зрачок и глаз состоят из воды. Душа находится не на поверхности глаза, но внутри; поэтому необходимо, чтобы внутренняя часть глаза была прозрачна и доступна свету». Прозрачное (среда между светящимся телом и глазом) имеет, по Аристотелю, большое значение, и он обращает особое внимание на то, что мы не можем видеть предмета, приложенного непосредственно к глазу. «Если в прозрачном находится нечто огненное, то получается свет; в противном случае получается тьма. Как в природе свет сменяется тьмой, так и в телах образуется белое и черное. Будучи поставлены рядом, они могут различаться в такой слабой степени, что тело не будет казаться ни белым, ни черным; а так как оно должно иметь какой-нибудь цвет, то получается другой смешанный, вместо белого и черного». Цвета, по Аристотелю, не представляют, следовательно, чего-нибудь абсолютно видимого, но они только присущи видимым предметам и происходят вследствие того, что свет наблюдается сквозь темное, а свет и тьма смешиваются между собою. Так, солнечный свет, видимый сквозь туман, кажется красным, а *радуга происходит оттого, что солнце, отражаясь в более темных обликах, дает все цвета.*

Теплоту Аристотель рассматривает как *основное качество, присущее, прежде всего, огню как стихии, но, вместе с ним и всем телам.* Так как огонь по своей природе постоянно стремится кверху, то этим объясняется испарение воды, плавание тел и т. д. Насколько вредно, однако, отражается отсутствие точных измерений в физике, как мало разумного можно высказать относительно физических явлений, когда различные причины не изучены с точки зрения своего действия путем наблюдения, показывает следующее место, относящееся к действию теплоты. «Кипящая вода согревает сильнее пламени, но пламя сжигает горючее и плавит плавимое, вода же нет. Далее, кипящая вода жарче слабого огня, но теплая вода охлаждает скорее и сильнее слабого огня, так как огонь не теряет жара, вода же постепенно охлаждается. Кроме того, кипящая вода наощупь горячее, но холодеет и отвердевает скорее масла. Кровь на ощупь теплее воды и масла, но быстрее их отвердевает. Камни, железо и т. п. нагреваются медленнее воды, но, будучи нагреты, они жгут сильнее. Сверх того, одни из так называемых теплых тел содержат постороннюю теплоту, другие же обладают собственной. Существует, однако, большая разница между тем и другим видами тепла. Одно тело имеет теплоту случайно, не по своей природе, совершенно так, как в случае, если бы больной лихорадкой был музыкантом и кто-нибудь сказал, что музыкант теплее человека, обладающего здоровой теплотой. Между телами, из которых одно обладает собственной теплотой, а другое нагрето случайно, первое охлаждается медленнее, второе же теплее на ощупь. С другой стороны, тело обладающее собственной теплотой, жжет сильнее; например, огонь обжигает сильнее кипящей воды, хотя кипящая вода наощупь горячее, обладая случайной теплотой. Ясно, таким образом, что далеко не просто решить, в котором из двух тел больше тепла, так как на один лад оказывается теплее одно тело, на другой — другое».

48 ФИЗИЧ. СОЧИНЕНИЯ АРИСТОТЕЛЯ

Из *физических сочинений*¹ Аристотеля известны следующие 1) «Физика», 2) «О небе», 3) «О метеорологии», 4) «О рождении и разрушении», 5) «Механические проблемы». Из мелких естественнонаучных статей, так называемых «*Parva naturalia*», для физики интересны рассуждения об органах чувств. Вышеприведенные цитаты о слухе и зрении заимствованы преимущественно отсюда, хотя в монографии о душе несколько глав тоже относятся к органам чувств.

«Физика» делится на восемь книг. В первой помещены исторический обзор учения о началах вещей до Аристотеля и взгляд самого Аристотеля на этот вопрос. Вторая содержит определение природы, учение о четырех причинах вещей, *causa formalis* (сущность), *causa materialis* (вещество), *causa efficiens* (движение) и *causa finalis* (цель). В третьей книге находится определение движения («Движение есть осуществление существующего в возможности. Оно есть действие движимого, относящееся к его подвижности»), а также исследование пространства и времени. В четвертой книге изложена теория брошенных тел. Следующие книги посвящены преимущественно различным видам движения. Движение включает в себе пять начал: движущее, движимое, направление движения, исходную точку и цель. В соответствии с последней движение получает специальное обозначение: так, разрушение тела есть движение к небытию. Все движения представляют собою изменения количества, качества или места. Изменение места в пространстве является тягой, толчком, вращением или поступательным движением. Затем следует учение об *естественных и насильственных, прямолинейных и круговых движениях*.

Сочинение «О небе» содержит в первой книге изложение понятия о материи и рассуждение о тяжести и легкости. Во второй книге изложен взгляд Аристотеля на небо и звезды. Небосвод имеет вид шара, звезды тоже шарообразны, потому что каждый предмет состоит из того, в чем находится. Так как звезды двигаются кругообразно, то они и должны состоять из кругов. Тепло и свет, испускаемые небесными телами, происходят от трения их об воздух во время их движения в пространстве; ведь движение приводит в раскаленное состояние не только дерево, но камни и железо. Каждое из небесных тел вращается вместе с принадлежащей ему сферой так, что раскаляется не самое тело, а воздух, и притом всего сильнее в том месте, где находится солнце. В третьей книге Аристотель излагает учение о началах тел. В четвертой он возвращается снова к тяжести и легкости.

В сочинении «О рождении и разрушении» мы находим в первой книге теорию трех родов возникновения, а во второй снова теорию четырех начал и основных качеств.

Две последние книги содержат почти исключительно всевозможные рассуждения и определения терминов, книга же «О метеорологии» стоит на более твердой почве. В трех первых книгах изложены метеорологические факты с более или менее удовлетворительным их объ-

¹ а) *φυσικῆ ἀχροασίς*, *auscultationes physicae*, б) *περὶ οὐρανοῦ*, *de caelo*, в) *μετεωρολογικά*, д) *περὶ γενέσεως καὶ φθοράς*, *de generatione et corruptione*, е) *μηχανικά προβλήματα*, *quaestiones mechanicae*.

ЗНАЧЕНИЕ НАТУРФИЛОСОФИИ АРИСТОТЕЛЯ 49

яснением. Четвертая книга содержит химические рассуждения о началах и основных качествах. Аристотель причисляет к атмосферным явлениям падающие звезды, кометы, Млечный путь (последний он считает взвешенным в воздухе испарением земли); далее, облака, туман, дождь и снег. Он знает, что роса падает только в ясные и тихие ночи, что ветер меняет свое направление, большей частью, по солнцу, и что пары морской воды пресны. Морскую воду он, впрочем, считает соленой только на поверхности. Землетрясение он пытается объяснить напряжением сжатого в земле воздуха.

«Механические проблемы» — это сборник вопросов и попыток разрешить их. Аристотель, по-видимому, составил их для собственного руководства без намерения обнародовать. Возможно также, что они частью принадлежат ему, а частью его преемникам.

В своих естественнонаучных сочинениях Аристотель разрешил проблему древней философии о строении вселенной с искусством, достойным величайшего удивления. Он превзошел всех своих предшественников строгой выдержанностью своих пояснительных начал, логической последовательностью в развитии своей системы и, в особенности, обилием разнообразных сведений о природе. *Как же, однако, могло случиться, что, несмотря на все это, его система привела к совершенно ложным результатам?* Над решением этого вопроса издавна задумывались самые выдающиеся люди, но не могли придти к согласному выводу. Уэвель, в своей «Истории индуктивных наук», восстает против общепринятого мнения, что причину ошибок Аристотеля и греческой физической науки вообще составляет недостаток фактических данных. «Для развития всякой естественной науки», говорит он, «необходимы факты и идеи. Ошибка греческих философов заключалась в том, что, хотя они и обладали в избытке фактами и идеями, они не сумели уточнить последних и согласовать их с первыми. И Аристотель при своих исследованиях в области механики тоже не сумел согласовать фактов с соответствующими понятиями, например, искать причины движения в силе вместо отношений пространства и т. п.». Льюис¹ справедливо замечает, что Уэвель не указал причины ошибки Аристотеля, а только перефразировал факт ее существования; но, с другой стороны, он возражает против мнения об обилии наблюдений у греков. «Они наблюдали бесспорно, но не так, как следует; они производили даже опыты, но не пользовались в достаточной мере опытом», замечает Льюис. У Аристотеля он констатирует отсутствие *проверочного опыта*, как для фактических данных, так и для теоретических построений и в этом он видит причину ошибочности всех его исследований в области физики.

Правда, Аристотель избег бы колоссальных промахов, если бы во всех случаях проверял свои выводы опытом; но сомнительно, чтобы он достиг удовлетворительных результатов в физике, если бы ограничился подобным применением опыта. *Современная физика пользуется опытом далеко не для одной проверки готовых выводов.* Она пользуется им и для решения вопросов, относительно которых не установилось

¹ *Aristoteles*, Leipzig, 1865.

50 ЗНАЧЕНИЕ НАТУРФИЛОСОФИИ АРИСТОТЕЛИ

еще определенных понятий, и для приобретения данных, долженствующих служить основанием для разработки новых идей, и, наконец, на основе последних ставит точные измерения в надлежащих благоприятных условиях. В таком широком применении опыта состоит метод новейшей физики, и *отсутствием этого-то экспериментального метода*, объясняется несостоятельность физических взглядов Аристотеля. Тому, кто, не удовлетворившись приведенным объяснением, предложит вопрос, почему гениальный ум Аристотеля не мог найти верного пути, можно только ответить: *Аристотель не был физиком* в собственном смысле этого слова, но *по преимуществу философом*. Величайшие его заслуги принадлежат области философии, и в качестве философа он пытается объяснить природу, как целое, с общей точки зрения. Аристотель, в противоположность своим предшественникам, стоит на реальной почве, никогда не отворачивается от фактов, напротив, он наблюдает неутомимо, чтобы не упустить из виду чего-либо существующего. Тем не менее, он остается философом, который *не может ограничиться продвижением вперед отдельными, осторожными безошибочными шагами*, а соответственно своей задаче стремится к *общим положениям для объяснения целого*. Перед нами открывается коренная причина промахов всей древней физики: она была философией природы, пытавшейся одним широким взмахом обнять все мироздание, а не *скромной экспериментальной наукой, которая довольствуется объяснением простейших физических явлений*.

В праве ли мы, однако, ставить Аристотелю в вину, что он был тем, чем он мог и хотел быть, т. е. философом? *Невозможность* достичь цели отвлеченными умозрениями не была еще в то время доказана, так как не существовало достаточного опыта для обоснования сомнения в этом направлении. Позднее, однако, неудача, постигшая величайшего философа, и его метод в области физики всего более способствовали тому, что *путь чистого умозрения был совершенно оставлен*, и наука перешла на утомительный, но надежный путь опытного исследования. Силой аристотелевского авторитета физика в средние века воскресла вновь в виде чистой натурфилософии, но *очевидная ошибочность и бесплодность* этого аристотелизма, в свою очередь, способствовала обращению передовых умов к наблюдению и опыту.

2. Период математической физики

(Приблизительно от 300 г. до н. э. до 150 г. н. э.)

Аристотелем заканчивается *творческий период греческой натурфилософии*. Его законченная, замкнутая в себя, система давала ученикам мало исходных точек для дальнейшего развития. Кроме того, учитель настолько превосходил учеников силою своего ума, что последние были рады усвоить себе и уяснить другим его учение, не имея ни времени, ни в особенности смелости исправлять учителя. Непосредственные последователи Аристотеля, Евдем и Теофраст ¹ позволяют себе еще робкие попытки в этом направлении; но позднее это уже не повторяется, и школа перипатетиков порождает одних рабских истолкователей великого мыслителя. Однако в древности аристотелизм не пользовался таким безусловным владычеством над умами, как в средние века. Рядом с философией, объяснявшей мир с *телеологической точки зрения, конечными целями и стремлением к совершенству, существовало и пользовалось успехом более материалистическое учение атомистов*. Впрочем, и здесь можно встретить мало оригинального, потому что даже Эпикур (341—270 до н. э.), замечательнейший атомист этого периода, так строго придерживается Демокрита, что его физика может быть смело названа демокритовской.

Древнейшие философы соединяли в себе всю совокупность современных им знаний. С накоплением материала неизбежно должно было наступить разделение. Отдельные философы, следуя своим наклонностям, начали заниматься преимущественно математикой и астрономией, некоторые же исключительно отдались этим наукам, покинув философию. Чистая математика составляла в древности главную часть философского образования. Надпись над воротами Платоновой академии гласила: «Никто, не сведущий в математике, да не входит в этот дом». Но лишь только наука эта проявила наклонность перейти на практическую почву и обрела в астрономии и физике гостеприимную область для применения своих положений, она отделилась от философии и вскоре достигла самостоятельности. Математика не только сама отделилась от философии, но и освободила физику из-под ее исключительной опеки, так что наряду с философской физикой возникли физика математическая, не соприкасавшаяся с первой

¹ Теофраст написал историю философской физики от Фалеса до Аристотеля в 18 книгах, к сожалению, не дошедших до нас.

52 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

даже в лице разрабатывавших ее ученых. Евдокс ввел математику в астрономию; Архит, по общему мнению, первый приложил ее к механике, а александриец Евклид первый из математиков разработал, по крайней мере, одну часть физики совершенно независимо от философии. Философия в рассматриваемом нами периоде находится в нисходящем фазисе своего развития, математика же — в восходящем. Неудивительно поэтому, что математическая физика этого периода привлекла на свою сторону почти всех выдающихся ученых, между тем как натурфилософия почти не имеет блестящих представителей. Сверх того, нужно вообще заметить, что математическая физика во все времена имела неоценимое преимущество перед натурфилософией.

Философия и математика одинаково неспособны сами по себе создать физику как науку, потому что обе они принуждены воспринимать пассивно материал для своих дедукций. Они должны исходить из готовых наблюдений или же из положений, не требующих доказательств, так как экспериментальный метод, собирающий материал, имеет не философский или математический, а чисто физический характер. Ни та, ни другая наука не могут, следовательно, довести физику до конца. Без содействия экспериментальных наук они способны дойти лишь до пределов, даваемых обычным материалом наблюдения. При коренном различии своих приемов обе они получают различные результаты, исходя из одного и того же материала; но математика, благодаря своему методу, останется всегда непогрешимой, философия же на каждом шагу может впасть в жестокие ошибки. Поэтому-то величайший из древних философов, Аристотель, оставил потомству почти только ряд одних физических заблуждений, а величайшего из древних математиков, Архимеда, нельзя упрекнуть ни в одном промахе.

Поэтому Архимеда любят также называть первым физиком, и это можно было бы допустить, если бы в науке был важен лишь только один результат; при требовании же от физика физического метода такое название окажется неправильным. Архимед был в такой же мере исключительно математиком, как Аристотель философом. Архимед сделал несколько физических опытов и передал потомству ряд физических наблюдений, дотоле неизвестных: но при своих исследованиях он ни разу не обратился сознательно к наблюдению, как к физическому методу, и, как мы увидим, во всех его исследованиях преобладает математический интерес и сам он рассматривал свои физические работы лишь как приложение математики.

Второй период древней физики имеет математический характер и приобретает, поэтому более определенную форму. Не одна механика получает прочные основы в трудах Архимеда, оптика тоже становится на твердую почву благодаря Евклиду и Птолемею, определившим чисто математическим путем ход световых лучей. Также практические нужды сказывают благотворное влияние на развитие «науки. Механики, подобные Ге-

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА 53

рону, сооружают механические снаряды и описывают их научным образом. Архитектор Витрувий пишет пространное сочинение, имеющее не только практический, но и теоретический интерес, и т. д. Не зная мы наперед о раннем упадке, грозящем древней культуре, можно было бы с полным правом рассчитывать, что физика в скором времени разовьется и окрепнет до степени самостоятельной науки. В первой половине рассматриваемого периода ее рост идет очень быстро, но, к сожалению, уже во второй половине общее падение древней культуры отражается и на физике; ее прогресс приостанавливается, и наука наша уже безостановочно и с постепенно возрастающей скоростью идет к гибели.

Во втором периоде развития физики мы наблюдаем не только совершенное изменение метода, но и перемену места научной деятельности. Раньше вся умственная жизнь греков сосредоточивалась в Афинах; здесь процветали великие философские школы, и сюда стремилось все, имевшее притязание на интеллектуальное значение. Философские школы, правда, продолжают здесь существовать и во втором периоде, влача жизнь до полного уничтожения древней науки, но величие их уже потеряно безвозвратно. Самые Афины перестают быть центром культуры, так как Птолемеям удалось превратить свою столицу Александрию в средоточие греческой учености.

Уже Птолемей Сотер (321—283) начал приглашать к своему двору знаменитых греческих ученых. Преемник его, Птолемей Филадельф, основал в Александрии знаменитый музей (250 до н. э.), ученую академию, посвященную первоначально развитию наук, но впоследствии превратившуюся в школу для образования молодых ученых. Филадельф и его преемники не переставали покровительствовать музею, относясь к науке и ее представителям с истинно царской щедростью. Позднее римляне, в свою очередь, проявляли интерес к наукам, отдавая школы под покровительство императоров. Члены музея получали годовое жалование, чтобы иметь возможность жить, не отвлекаясь от ученых занятий. Были созданы зоологический и ботанический сад и анатомическая школа; для астрономической обсерватории были заказаны инструменты неслыханной до того точности; но, что всего важнее, в распоряжение ученых была предоставлена библиотека, где в лучшую пору насчитывалось 700 000 томов. По приказанию Филадельфа и его наследника Евергета (247—221) по всей Греции систематически собирались рукописи; владелец их должен был довольствоваться копией, подлинник же пересылался в музей. Большая часть библиотеки (400 000 томов) хранилась в академическом здании; меньшая (300 000 томов) — в храме Юпитера Сераписа. При осаде Александрии Цезарем (47 до н. э.) музей с хранившейся в нем библиотекой сгорел; взамен ее Антоний принес в дар Клеопатре пергамскую библиотеку с 200 000 томов. В 390 г. н. э. фанатические христиане под предводительством архиепископа Феофила разрушили храм Сераписа, и, на-

54 ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

конец, в 640 г. остатки библиотеки были сожжены при занятии Александрии арабами.

Заслуги александрийских ученых очень значительны в математике, астрономии, а также в географии, истории и филологии. Для физики же они сделали меньше, чем можно было ожидать, судя по их наклонности к измерениям и наблюдениям в области астрономии и географии, по богатству средств, которыми они располагали и, наконец, по числу работников, занятых научными исследованиями в течение ряда столетий.

ЕВКЛИД (300 до н. э.), представитель математической школы в Александрии, оставил по себе, сверх знаменитых геометрических книг, несколько сочинений по физике, относительно которых существует сомнение, вполне ли они подложны или же они только снабжены позднейшими прибавлениями. Из них «Гармоника» представляет незначительный теоретический интерес, зато «Оптика», а еще более «Катоптрика», сделались краеугольными камнями соответственных отделов физики, хотя они далеко не чужды ошибок.

Евклид, как впоследствии Архимед, в своих сочинениях по механике начинает с простых положений, основанных на опыте и принимаемых им без доказательств, а из них уже чисто математически выводит другие положения. В своей «Оптике» Евклид придерживается ложного учения Платона о зрительных лучах, исходящих из глаза, несмотря на то, что оно было раньше окончательно уже опровергнуто Аристотелем. С другой стороны, он дает верное определение зависимости кажущейся величины предмета от угла зрения, хотя и здесь впадает в ошибку, полагая, что величина обуславливается исключительно углом зрения. Относящиеся сюда положения евклидовой «Оптики» следующие: лучи, выходящие из глаза, распространяются по прямым линиям на некотором расстоянии друг от друга. Фигура, описываемая зрительными лучами, имеет форму конуса, вершина которого лежит в глазу, а основание — на границе видимого предмета. Предметы, рассматриваемые под одинаковым углом зрения, кажутся равными по величине. Теоремы, выведенные из этих положений, относятся преимущественно к видимой величине и к форме предметов, рассматриваемых на различном расстоянии и в различном положении.

«Катоптрика» включает в себе следующее основное положение: если зеркало лежит в горизонтальной плоскости, на которой отвесно стоит предмет, то для линий, проведенных между глазом и зеркалом, с одной стороны, между предметом и зеркалом — с другой, получается то же отношение, которое существует между высотами глаза и предмета. Из этого положения вытекает закон отражения: зеркала плоские, выпуклые и вогнутые отражают падающие лучи под равными углами, причем изображение и предмет лежат в плоскости, перпендикулярной к плоскости зеркала. Относительно сферических зеркал Евклид справедливо доказывает еще, что лучи, отражающиеся от вогнутых зеркал, могут быть сходящимися и расходящимися, от выпуклых же — только расходящимися. В заключение мы встречаем здесь к удивлению, одну ошибочную теорему: фокус вогнутого зеркала нахо-

ПЕРВАЯ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА 55

дится или в центре его шаровой поверхности, или между этим центром и зеркалом.

Выше было замечено, что нельзя решить, какое место в названных сочинениях действительно принадлежит Евклиду, и какое позднейшим добавлениям. Во всяком случае, Евклида можно признать основоположником учения о прямолинейном распространении света и законов отражения, следовательно, двух существенных отделов оптики. С этих пор оптика становится наилучше разработанным отделом физики; она менее прочих уклоняется от истины даже в самые темные периоды средних веков и продолжает развиваться в такое время, когда все естественные науки поражены летаргическим сном. Такое счастливое исключение оптика составляет, однако, не в качестве определенного отдела физики, а только благодаря тому, что *евклидовы законы отражения превратили все проблемы отражения лучей в чисто математические задачи*. Раз дана форма зеркальной поверхности, математика уже совершенно самостоятельно определяет ход светового луча. Для Евклида оптика представляет только математический интерес; вот почему он относится безразлично ж вопросу о том, идет ли луч света из глаза к предмету или же наоборот.

Физическая сторона оптики мало подвигается вперед в последующий период. Натурфилософия, вообще интересовавшаяся природой света, сделала для нее в лице Аристотеля все, что могла, а математическая физика изучала только ход лучей, оставляя в стороне их природу. Этим объясняется, почему физическая оптика принадлежит к отделам физики, развившимся всего позже.

АРИСТАРХ САМОССКИЙ, который учил в Александрии около 280 г. до н. э. был приверженец пифагоровой гипотезы движения земли. Он принимал, что солнце и неподвижные звезды находятся в покое, а земля обращается вокруг солнца. Против возражения, что при вращении земли неподвижные звезды должны были бы изменять свое видимое положение, Аристарх указывает на громадное расстояние неподвижных звезд от солнца сравнительно с расстоянием от него земли. Это объяснение было вполне удовлетворительно, потому что при колоссальном отдалении сферы неподвижных звезд незначительное перемещение земли не может вызывать видимого перемещения этой сферы. Тем не менее, гелиоцентрическая система не имела еще достаточных основ, а геоцентрическая до такой степени удовлетворяла всех, что лучшие астрономы того времени не перешли на сторону Аристарха. Поэтому учение его в дальнейшем оказало так мало влияния, что даже Коперник, по-видимому, не имел о нем понятия.

Большую известность доставило Аристарху определение относительного расстояния солнца от земли и луны, тем более, что подобное астрономическое измерение было произведено впервые. Когда луна кажется с земли наполовину освещенной, тогда солнце, земля и луна образуют прямоугольный треугольник с вершиною прямого угла на луне. Аристарх определил угол, образуемый зрительными лучами по отношению к луне и солнцу, в 87° и отсюда вывел отношение одного из катетов этого треугольника к гипотенузе, т. е. отношение лунного расстояния к солнечному, равным от 1:18 до 1:20. Конечно, этот

56 ЖИЗНЬ АРХИМЕДА

результат оказался очень ошибочным, так как в действительности указанное отношение приблизительно равно 1:400; но ошибка вызвана в данном случае не теорией измерения, а практическим применением ее, не допускавшим достаточно точного определения соответствующего угла.

Знаменитейший физик древности *АРХИМЕД* (287—212 до н. э.), не принадлежавший, странным образом, к александрийской школе, провел большую часть жизни в своем родном городе Сиракузах. В его жизнеописаниях упоминается о путешествии в Египет, но точных сведений об этом нет. Все его великие открытия были сделаны в Сиракузах, только знаменитый водоподъемный винт был, по рассказам, изобретен в Египте. Архимед был другом и родственником царя Гиерона, правившего Сиракузами с 269 до 215 г. до н. э., но принимал участие в общественных делах, лишь насколько мог служить согражданам применением своих физических познаний и своей изобретательностью. Научные исследования поглощали его до такой степени, что ему приходилось напоминать про еду и питье и силой отправлять в купальню, где он во время растираний продолжал чертить геометрические фигуры на песке. С такими свойствами его характера вполне согласуется известный рассказ Витрувия. Царь Гиерон хотел пожертвовать в храм золотой венец и велел отвесить мастеру надлежащее количество золота. Мастер представил венец соответственного веса, но ходили слухи, будто он заменил часть золота серебром. Архимед, которому царь поручил расследовать это дело, долго думал над решением вопроса, пока, наконец, оно не возникло в его уме внезапно в то время как он сидел в ванне. Вне себя от радости, он выскочил из воды и раздетый побежал по улицам Сиракуз, повторяя знаменитое *εὕρηκα* («нашел») согражданам, смотревшим на него с понятным удивлением. По мысли, пришедшей ему в голову, когда он сидел в ванне, Архимед опустил в сосуд, наполненный водой, слиток золота, равный по весу венцу, и нашел, что он вытесняет воды меньше, нежели последний. При повторении опыта со слитком серебра равного веса получилось обратное. Таким путем не только был доказан обман вообще, но и получилась возможность определить, сколько именно золота было заменено серебром. Судя по основному закону, выраженному в его гидромеханике, следует, впрочем, предположить, что Архимед определил подлог скорее на основании весовой потери венца в воде, чем по описанному выше способу, допускающему меньшую точность.

Об Архимеде рассказывают вообще много чудес. Такова басня о линейном корабле, над которым в течение полугода трудилось 300 рабочих и который, будучи обложен свинцовыми листами для защиты от червей, оказался настолько тяжелым, что не мог быть снят со стапелей; Архимед при помощи своих машин легко стащил его в море один. Другой большой военный корабль был приведен им к берегу посредством рычагов, канатов и блоков. Неудивительно, что Архимед был сам увлечен могуществом своих рычагов и в порыве восторга сказал Гиерону: «Дай мне точку опоры, и я подниму землю». Величайший подвиг свой Архимед совершил после смерти Гиерона, когда сиракузяне, низвергнув внука последнего после кратковременного царство-

СОЧИНЕНИЯ АРХИМЕДА 57

вания, заключили союз с Карфагеном и за это подверглись преследованию римлян. При помощи архимедовых машин, скрытых за стенами, на римлян, осаждавших город, сыпался такой град стрел и камней, что войско начинало обращаться в бегство, увидев лишь на вершине стены канат или столб. Осаждавшим с моря приходилось еще хуже: лишь только они приближались к стене, чтобы укрыться от метательных снарядов, сверху спускалась железная лапа (крюк на цепи, прикрепленный к столбу), хватала корабль за носовую часть, держала его отвесно, пока экипаж и вооружение не сваливались в море, и затем бросала, причем корабль мгновенно наполнялся водою и тонул. Подобные сказки рассказывает Плутарх, а за ним Ливий и Полибий, — наглядное доказательство, до какой степени ненаучно и некритически могли писать даже серьезные люди в начале нашей эры. К изложенной легенде Плиний около того же времени сделал еще много добавлений.

Другая, тоже общеизвестная, басня, возникла, по-видимому, только в XII веке. Она приписывает Архимеду сожжение неприятельского флота посредством вогнутых зеркал, которыми он с высоты стен собирал солнечные лучи и направлял на римские корабли. Многие физики старались найти какое-нибудь разумное основание для этого предания, но безуспешно. Еще в XVII веке патер Кирхер считал такую вещь возможной, потому что ему самому удалось получить значительное повышение температуры на расстояние 100 футов комбинацией из пяти плоских зеркал. Бюффону удалось зажечь доску, намазанную дегтем, на расстоянии 300 футов при помощи установки 168 зеркал. Однако по отношению к флоту подобный эксперимент не имел бы успеха уже потому, что корабль в случае подобной опасности не остался бы неподвижным на месте. Верно одно, что Архимед, при своей гениальной изобретательности, мог причинять значительный вред римлянам и, разумеется, не упускал случая вредить им. Родного города ему, однако, отстоять не удалось. Мало того, при занятии Сиракуз он попался на глаза какому-то римскому солдату и был убит. Сиракузяне, по-видимому, скоро забыли о нем, потому что 137 лет спустя квестору Цицерону пришлось указывать его могилу неблагодарным потомкам.

Сочинения Архимеда, дошедшие до нас, т. е. большая часть того, что он написал, сохранились почти в неизменном виде. Они озаглавлены¹: 1) «О шаре и цилиндре»; 2) «Об измерении круга»; 3) «О коноидах и сфероидах»; 4) «О спиральных линиях»; 5) «О равновесии плоскостей»; 6) «О квадратуре параболы»; 7) «О числе песчинок»; 8) «О плавающих телах» и 9) «Книга вспомогательных положений». Только два последние сочинения не дошли до нас в подлинниках; книга «О плавающих телах» существует на латинском, а книга «О вспомогательных положениях» на арабском языке. Большинство сочинений

¹ 1) περί σφαίρας και κυλίνδρου, de sphaera et cylindro, 2) κυκλίου μετρησις, dimensio circuli, 3) περί χωνοειδών και αφαιροειδών, de conoidibus et sphaeroidibus, 4) περί ελίκων, de lineis spiralis, 5) επιπέδων, de aequiponderantibus, 6) τετραγωνισμός, quadratura parabolae, 7) φάμμιτις, de arenae numero, 8) de iis, quae vehuntur in aqua, 9) Lemmata.

58 МЕХАНИКА ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТЕЛ

относится к чистой математике. Для физики важны только сочинения 5, 7 и 8.

Трактат «О равновесии плоскостей» исходит из принятого положения, что равные по весу величины, действующие на одинаковых расстояниях, находятся в равновесии; отсюда вытекает другое положение: если две равные по весу величины не имеют общего центра тяжести, то центр тяжести величины, полученный от сложения обеих, будет лежать по середине прямой, соединяющей центры тяжести обеих величин. При помощи этих положений Архимед доказывает справедливость закона рычага. Именно: если к рычагу привешены два груза, то на основании второго положения можно разделить каждый груз на 2, 4, 8 равных частей и привесить их попарно в равных расстояниях от первоначальных точек привеса, не нарушая действия. Если же первоначальные два груза обратно пропорциональны их расстояниям от точки опоры рычага, то отдельные части грузов могут быть распределены по обоим плечам рычага таким образом, что на обоих будет находиться равное число грузов на попарно равных расстояниях, откуда следует, что система находится и, следовательно, раньше должна была находиться в равновесии. Это доказательство, которое наглядно может быть выведено только для соизмеримых плеч рычага, и которое Архимедом было строго математически распространено и на несоизмеримые отношения, возбуждало много возражений. Последние касались, с одной стороны, обоснования первых исходных положений, с другой — распределения отдельных частей грузов около центра тяжести — распределения, которое, по Архимеду, не должно нарушать равновесия. Тем не менее, это доказательство и по настоящее время не заменено каким-либо другим, более строгим, или хотя бы существенно улучшено. В том же сочинении Архимед на основании второго из вышеупомянутых положений определяет математически положение центров тяжести в параллелограммах, треугольниках, трапециях и параболических отрезках.

Второе важное для механики сочинение «О плавающих телах» основано на положениях, что *жидкость во всех частях однородна и непрерывна и что во всякой жидкости менее сжатая часть смещается другой, более сжатой; и, наконец, что всякая часть жидкости претерпевает давление от лежащей отвесно над нею жидкости*. Отсюда выводится, что поверхность покоящейся жидкости должна иметь сферическую форму, концентрическую с поверхностью земли; что тело, которое легче жидкости, погружается в нее до тех пор, пока вес тела не сравняется с весом вытесненной жидкости; что тело, насильственно погруженное в жидкость, всплывает с силою, равной избытку веса жидкости над весом тела; и, наконец, что тело, более тяжелое, чем жидкость, погружается в нее совсем и теряет вес, равный весу вытесненной жидкости. Вслед за этим наиболее знаменитым из своих положений Архимед высказывает новую гипотезу: «Все тела, вытесняемые жидкостью кверху, двигаются по отвесной линии, проходящей через их центр тяжести». Потом он обращается к исследованию равновесия шаровых отрезков и коноидов, плавающих в жидкости, — исследованию, к которому, по выражению Лагранжа, новейшие ученые прибавили весьма мало.

О ЧИСЛЕ ПЕСЧИНОК 59

Странная с виду цель трактата «О числе песчинок» лучше всего выясняется из введения, которое мы приводим здесь с небольшими пропусками, так как оно во многих отношениях интересно: «Есть люди, о царь Гелон¹, которые полагают, что число песчинок бесконечно. Другие не признают их числа бесконечным, но думают, что невозможно указать числа, большего, чем их количество. Я со своей стороны постараюсь доказать геометрическим вычислением, на которое ты удостоишь обратить внимание, что между числами, находясь в книгах Цейксиппа, есть такие, которые превосходят число песчинок, вмещаемых телом не только большим, нежели земля, но равным по величине всей вселенной. Ты знаешь, что астрономы рассматривают вселенную как полый шар, центр которого соответствует центру земли, а радиус равен линии, соединяющей центры солнца и земли. По учению Аристарха, вселенная должна быть еще гораздо обширнее, так как он принимает, что солнце и звезды неподвижны, что земля обращается вокруг солнца как вокруг своего центра, и что сфера неподвижных звезд, центром которых служит солнце, так обширна, что круг, описываемый землей, находится в таком же отношении к сфере неподвижных звезд, как центр того круга к его окружности». Хотя очевидно, что Аристарх представляет себе самый центр круга в виде бесконечно малого круга и что он этим хочет придать сфере неподвижных звезд поперечник, бесконечно больший против поперечника большого пути, Архимед все-таки настаивает на том, что точка не может иметь отношения к кругу. Для вычисления поперечника сферы неподвижных звезд Архимед принимает, что Аристарх под центром земного пути разумел самую землю, и принимает окружность земли в 300 000 стадий.

«Некоторые утверждают, как тебе известно, что окружность земли приблизительно равна 300 000 стадий. Я иду гораздо дальше и принимаю окружность в 10 раз больше. Подобно большинству астрономов, я предполагаю далее, что земной поперечник больше «лунного, а солнечный больше земного. Наконец, я принимаю поперечник солнца в 30 раз больше поперечника луны, но не свыше. Именно, Евдокс определяет поперечник солнца в 9 раз больше лунного, Фидий — в 12 раз, а Аристарх пытается доказать, что он более чем в 18 и менее чем в 20 раз больше. Я старался при помощи инструментов измерить угол, идущий от окружности солнца к глазу наблюдателя. Измерение это нелегко, потому что нельзя в точности определить угла посредством глаз, рук и инструментов».

При помощи своего метода, который он описывает весьма подробно, Архимед находит, что видимая величина солнца меньше 655-й и больше 800-й части круга зодиака. На основании этих измерений и предыдущих допущений он приходит, далее, к выводу, что расстояние солнца от земли не может быть больше 10 000 земных радиусов (8 600 000 миль) а поперечник сферы неподвижных звезд не больше 10 000 000 000 стадий. Число песчинок, которое наполнило бы такую вселенную, выражается у него, в конце концов, числом, состоящим, по нашему счисле-

¹ Сын Гиерона, умерший несколькими месяцами ранее отца.

60 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АРХИМЕДА

нию, из 1 с 63 нулями. Хотя Архимед полагал, что все принятые им размеры несравненно более действительных, но расстояние солнца он определил на $\frac{2}{3}$ меньше действительного, так как отношение солнечного поперечника к лунному равно не 30:1, а приблизительно 400:1. В упрек этого ему нельзя ставить, так как размеры вселенной определены скольконибудь точно лишь в последнее время. Даже у Кеплера расстояние между солнцем и землей менее, чем у Архимеда, именно 3 000 000 миль.

Архимед был предметом восторженного удивления древних веков. Ему приписывали 40 механических изобретений, большинство которых осталось неизвестным, так как Архимед сам о них не упоминает ¹. Нам известны *зажигательное зеркало* ², *водоподъемный винт*, *бесконечный винт*, *полиспасть* и *чрезвычайно сложный планетарий*. Последний наглядно представляет движение планет вокруг земли, причем простым поворотом рукоятки солнце, луна и планеты приводились в движение вокруг земли, вращаясь сравнительно правильно с соблюдением правильных соотношений периодов, и получалось даже затмение солнца луной. Цицерон еще видел этот планетарий и после ознакомления с ним пришел к убеждению, что Архимед обладал гением, почти несовместимым с человеческой природой. К сожалению, нам остался неизвестен механизм, при посредстве которого простым поворотом рукоятки можно было воспроизвести движение планет.

По свидетельству Плутарха, сам Архимед считал свои практические изобретения ничтожными по сравнению с теоретическими работами. Это, быть может, объясняется тем, что Архимед не был в состоянии дать удовлетворительной теории для всех своих машин (например, винта), а как математик не мог удовольствоваться одним практическим описанием своих изобретений. В дошедших до нас сочинениях он следует чисто математическому методу; ко всем физическим основам он относится как к простым гипотезам, никогда не объясняя, каким образом он пришел к ним. Определение видимой величины солнца — единственное наблюдение, которое он описывает. Но и здесь его занимает не столько самая величина, сколько ее пределы, могущие служить исходной точкой для дальнейших математических вычислений. Архимед может быть, поэтому признан основателем физики, лишь насколько она представляет собою приложение математики, но не основателем физики как самостоятельной науки. Для статики твердых и жидких тел он поистине гениальным образом дал математические основы, динамического же отдела механики он совершенно не коснулся. В этой части механики Аристотель остается единственным авторитетом до Галилея.

Метод Архимеда — исходить из заданных положений и посредством теорем приходить дедуктивно к новым выводам — хотя и дает надеж-

¹ *Archimede, Oeuvres*, trad. avec un commentaire par F. Peyrard, Paris, 1807.

² Уже в «Катоптрике» Евклида говорится о том, что вогнутые зеркала могут быть употребляемы в качестве зажигательных стекол; однако нельзя с уверенностью сказать, чтобы сам Евклид знал эти зеркала; с другой стороны, возможно, что Архимед не изобрел зажигательных зеркал, а только усовершенствовал способы их приготовления и употребления.

ПЕРВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЗЕМНОГО МЕРИДИАНА 61

ные результаты, но, если даже совершенно отвлечься от эмпирического метода настоящей физики, имеет тот недостаток, что скрывает путь, по которому сам изобретатель пришел к своим основным положениям. Этим объясняется, почему Архимед не основал никакой школы и имел весьма мало непосредственных преемников. В глазах древних он был каким-то божеством, которому поклонялись, но по следам которого никто не решался идти. Характерны слова Плутарха: «Во всей геометрии нельзя найти теорем более трудных и глубоких, чем те, которые Архимед решает самым простым и наглядным образом. Одни приписывают эту ясность его гениальному уму, другие — упорной работе, при которой самые трудные вещи делаются легкими. На взгляд, кажется, невозможно придумать объяснения ни для одной из теорем Архимеда, но, когда прочтешь данное им решение, кажется, будто найти его ничего не стоило, до того оно легко и просто».

ЭРАТОСФЕН (276—195 до н. э.) был современником Архимеда и, как полагают, был знаком с последним. Он был первым выдающимся географом древности и вместе с тем астрономом и филологом. В 247 г. он отправился в Александрию по приглашению Еввергета, где занимал место библиотекаря, и умер на 80-м году жизни, как уверяют, добровольной голодной смертью. Из многочисленных сочинений его для нас наиболее интересна «География» в трех книгах. Первая книга содержит критический обзор истории географии от Гомера до александрийцев; третья — политическую географию с приложением карт, а вторая — учение о поясах, о возможности кругосветного плавания и, кроме того, отчет о знаменитом измерении земной окружности, содержащий первое в истории изложение самого способа измерения.

Существовало наблюдение, что в начале лета в Сиене, в верхнем Египте, бывает вполне освещено солнечным светом дно глубокого колодца. Солнце находилось, стало быть, в это время в зените над Сиеной, тогда как в Александрии оно в это время отклонялось от зенита на $\frac{1}{50}$ окружности круга. Эратосфен полагал, что Александрия лежит прямо на север от Сиены, и отсюда заключил, что расстояние между обоими городами равно $\frac{1}{50}$ земного меридиана. А так как путешественники считали это расстояние равным 5000 стадий, то Эратосфен определил земную окружность в 250 000 стадий. К сожалению, длина стадий нам в точности неизвестна; считают вероятным, что 1 стадия = 600 аттическим футам = 569,4 парижским футам. Следовательно, по Эратосфену, окружность земли равна приблизительно 6 200 географическим милям. Неточность не превышает здесь 800 миль, что по тогдашнему состоянию науки не может быть признано значительной ошибкой¹.

КТЕЗИБИЙ и, в особенности, его ученик **ГЕРОН**, — знаменитые механики, жившие в Александрии около 150 г. до н. э. Оба успешно занимались физическими исследованиями и интересовались наукой не только с теоретической, но и с практической стороны. Ктезибию при-

¹ *Peschel, Geschichte der Erdkunde*. По Лепсиусу, Эратосфен определил градус в 126000 м. Это дает ошибку приблизительно в 14%, тогда как по первому вычислению она приблизительно равна 15%.

62 МЕХАНИКА ГЕРОНА

писывают изобретение духового ружья и нагнетательного насоса. Небольшие всасывающие насосы были уже известны во времена Аристотеля. Водяные часы Ктезибия замечательны тем, что при описании их впервые упоминается о зубчатых колесах. Система колес приводилась в движение корабликом, плавающим на поднимающейся поверхности воды, и бросала камешки в металлический тазик, указывая число часов. Водяные часы не были, однако, изобретением Ктезибия, так как водяные, а также и песочные часы (распространенные менее первых) были уже с древнейших времен известны «в Египте и Вавилоне. Витрувий, со слов Герона, описывает и водяной орган Ктезибия, но так сбивчиво, что нет возможности уяснить себе его механизм. Надо полагать, что Ктезибий только усовершенствовал обыкновенный орган, употребив водяные струи для образования воздушных.

Герои, подобно своему учителю, занимался изготовлением водяных часов, но прославился, главным образом, пневматическими машинами, которые он подробно описывает в своем сочинении «*Spiritualia seu Pneumatica*». К таким машинам принадлежит геронов фонтан, геронов шар, паровой волчок и золипил, который он приводил в движение то паром, то нагретым воздухом. Хотя отсюда ясно, что Герон знал о расширении воздуха и искусно умел пользоваться его упругостью, нигде не заметно, чтобы он подвинул вперед теоретическую механику газов. Важнее в теоретическом отношении его сочинение «О домкрате», действие которого он математически верно выводит из закона рычага. Подобный пример дальнейшего развития законов Архимеда, к сожалению, встречается в древности весьма редко. Быть может, именно у Герона и нашлось бы еще несколько подобных примеров, если бы все его математические сочинения не погибли, и в том числе и «Начала механики». Такое предположение оправдывается интересным изложением закона отражения: линии, отраженные под равными углами от данной плоскости, короче всех других, которые можно провести под неравными углами между теми же точками. Следовательно, световые лучи должны отражаться под равными углами, если природа не имеет в виду заставить их пробегать лишнее расстояние¹.

Другое сохранившееся сочинение Герона — «О строении метательных снарядов», употреблявшихся в его время, — написано не в научном тоне, а приспособлено для понимания широких читательских масс.

ГИППАРХ, уроженец Никем, руководивший школой в Александрии от 160 до 125 г., образует вместе с Аристархом и Птолемеем блестящее тройное созвездие древней астрономии. Многие ставят его даже выше знаменитого Птолемея, называя систему последнего лишь искусным приложением трудов Гиппарха. Для объяснения неравномерности движения планет Гиппарх выдвинул землю на некоторое расстояние из центра планетных путей и принял последние за эксцентрические круги: далее, он определил расстояние земли от центра солнечного пути (эксцентриситет) в $\frac{1}{24}$ радиуса и определил также положение земного приближения и удаления, что дало ему возможность вычислить солнечные таблицы. При сравнении своих наблюдений летнего солнцестояния

¹ Это — единственное положение, дошедшее до нас от героновой катоптрики.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ 63

с наблюдениями Аристарха Гиппарх определил длину года в 365 дней, 5 часов 55 минут вместо $365\frac{1}{2}$ дней. При помощи эксцентрического пути луны Гиппарху удалось также объяснить главнейшую неравномерность лунного движения и по вычислению элементов этого пути составить лунные таблицы. Параллаксы солнца и луны (т. е. углы, под которыми виден земной радиус с этих светил) он определил в $3'$ и $57'$ и отсюда вычислил относительные расстояния их от земли в 1200 и 59 земных радиусов, — второе довольно верно; первое же в 20 раз меньше действительного. При сравнении своих наблюдений с более древними. Гиппарх нашел, что одна звезда в Деве за 150-летний период времени изменила свою долготу на 2° , и, далее, заметил, что такое перемещение одинаково свойственно всем неподвижным звездам и что оно объясняется движением экваториального полюса вокруг полюса эклиптики. Для установления так называемого предварения равноденствий Гиппарх должен был произвести множество определений места неподвижных звезд. В звездном каталоге Гиппарха, которым впоследствии воспользовался Птолемей, действительно указано место 1080 неподвижных звезд.

Физика в праве позавидовать обилию тщательных и точных астрономических наблюдений, как равно и терпеливому спокойному методу объяснения полученных данных, выработанному астрономией. Некоторые ставили Гиппарху в упрек, что он вернулся к видимому движению солнца и вновь обрек землю на неподвижность. Не следует, однако, забывать, что при тогдашнем положении науки его теория была единственной надежной и вполне удовлетворительной. Эта-то мудрая сдержанность и строгая верность непосредственному наблюдению не только спасла астрономию от праздных мечтаний и упадка, поразившего все естественные науки, но и поддержала ее на пути постоянного прогресса.

ФИЛОН ВИЗАНТИЙСКИЙ (около 100 до н. э.) оставил сочинение о строении баллист и катапульт, свидетельствующее о тщательном применении известных в то время механических законов. Из его трактата о механике, посвященного тем же вопросам, что и сочинения Герона, уцелело только несколько цитат, приведенных Паппом.

ПОСИДОНИЙ (103 — 19 до н. э.), родом из Апомей в Сирии, учивший стоической философии и Родосе, предпринял вторичное градусное измерение по способу Эратосфена. Он заметил, что звезда Каноп в Корабле Аргонавтов касается горизонта в Родосе в то самое время, когда в Александрии она находится на $\frac{1}{48}$ окружности круга над горизонтом. А так как расстояние между обоими городами считали в 5000 стадий, то он вычислил, что окружность земли равна 240 000 стадий. Позднее он принял расстояние между Родосом и Александрией равным 3750 стадий и, внося соответственную поправку, получил 180 000 для земной окружности, — результат, который Птолемей приводит в своей географии, не указывая источника. Второе определение отличается не большей точностью, чем первое, оно настолько же меньше действительного, насколько первое больше его, если только Посидоний не применил фута, большего по размеру, чем аттический.

64 АТОМИСТИКА ЛУКРЕЦИЯ

ЛУКРЕЦИЙ (прибл. 96—55 до н. э.) в своем дидактическом стихотворении «De rerum natura» излагает мирозерцание эпикурейских философов. Телеологическое учение Аристотеля, пытавшееся все объяснить конечной целью, нашло «противников в философских школах стоиков и эпикурейцев, которые придерживались учения Демокрита и на основании атомистической теории пытались объяснить мир механическим образом. В древности вообще и у римлян в особенности эти школы первенствовали. Только в средние века Аристотель достиг исключительного господства и сохранил его до тех пор, пока новейшая физика, низвергнув аристотелевское учение, не примкнула до известной степени к атомистикам и, в особенности, к Лукрецию, изложение которого сохранилось полнее других. Так как мы уже изложили выше основания атомистической теории, говоря о Демокрите, то считаем лишним здесь возвращаться к ней.

Упомянем только, в виде примера, об очень интересном объяснении действия магнита истечениями из магнитной руды. Из всех тел непрерывно отделяются потоки атомов, через посредство которых тела приходят во взаимодействие. Потоки, исходящие из магнита, так сильны, что вокруг него образуется безвоздушное пространство, куда и устремляется железо. Одно только железо обладает свойством притягиваться подобным образом к магниту. Из прочих тел более тяжелые противостоят этим потокам; более легкие содержат большие скважины, через которые потоки проходят беспрепятственно. Этот пример показывает, что и философы механического направления любили подкреплять свои гипотезы новыми гипотезами и были мало склонны проверять их на опыте. Через полторы тысячи лет у Декарта мы снова встретили не только ту же ошибку, но и ту же гипотезу движения материи. Декарт объясняет магнитное, как и всякое другое притяжение потоками материальных частиц и в своей теории вихрей возвращается частью к учению эпикурейцев, согласно которому бесконечное число миров, на невероятно больших расстояниях и в течение невероятно огромных периодов времени, движется друг возле друга, возникает и уничтожается, частью к учению стоика Клеанта (250 г. до н. э.), который принимает существование вихреобразных токов для того, чтобы двигать солнце и планеты вокруг земли.

Египтянин *СОЗИТЕН* (46 до н. э.) пересматривает по приказанию Юлия Цезаря римский календарь. Новое юлианское счисление делит год на 11 месяцев попеременно в 30 и 31 день и на 1 месяц в 28 дней, к которому каждые 4 года прибавляется один лишний день. Длина года принимается, таким образом, в среднем в $365\frac{1}{4}$ дней, вопреки более точному определению Гиппарха.

Римский военный инженер времен Цезаря и Августа *ВИТРУВИЙ ПОЛЛИОН* дает в своем сочинении «De Architectura», libri X обзор современных ему сведений по архитектуре, механике, физике и физической географии. Как видно из заглавия, сочинение имеет преимущественно практическое направление и, кроме ценных сведений о древних физиках, например об Архимеде, содержит в себе мало интересного в теоретическом отношении. Римляне начинают около этого времени распространять греческую науку посредством обширных компилятив-

НАУЧНАЯ РАЗРАБОТКА ЯВЛЕНИЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ 65

ных сочинений. К числу книг этого рода принадлежит и сочинение Витрувия, черпающего материал по преимуществу из греческих источников.

Первые семь книг посвящены архитектуре, восьмая трактует о воде и водопроводах; девятая — об измерении времени; десятая — об искусстве построения машин. Всего самостоятельное восьмая книга. Грандиозные водопроводные сооружения римлян выяснили до известной степени понятия о движении жидкостей. Витрувий замечает весьма основательно: «Подобно водяным волнам, и звук распространяется кругами в воздухе. Однако в воде эти круги распространяются только в ширину и в горизонтальном направлении, между тем как звук постепенно распространяется в воздухе и в ширину и вглубь». Против господствовавшего тогда мнения, будто вода образуется в земных пещерах из воздуха, Витрувий утверждает, что вода источников происходит из дождевой воды, но убедить в этом современников ему не удалось. Вообще спор о происхождении речной и ключевой воды продолжался до сравнительно нового времени. Происхождение ветров Витрувий удачно пробует объяснить напряжением водяных паров и с этой целью подробно рассматривает паровой шар Герона. И эта теория не получила всеобщего признания. Исследования Витрувия принесли, быть может, ту пользу, что они сохранили в сознании понятие об упругости водяных паров до тех пор, пока люди, наконец, не научились применять к делу эту могущественную силу.

Из механических машин мы находим у Витрувия описание полиспаста, о котором, однако, он говорит как о вещи общеизвестной. Водяные мельницы, которые он описывает, тоже древнее изобретение, хотя они вошли в общее употребление не раньше IV века н. э.

КЛЕОМЕД (50 н. э.), в общем мало известный нам писатель, придерживается в своем сочинении «Циклическая теория метеоров» (т. е. небесных тел) взглядов стоиков и, в особенности, Посидония, об измерениях которого он упоминает. В его сочинении мы находим замечательные оптические наблюдения, связанные, по всей вероятности, с его астрономическими исследованиями.

Клеомед не только знает, что луч при переходе из менее плотной среды в более плотную и наоборот преломляется, но и что в первом случае отклоненный луч приближается к перпендикуляру, а во втором удаляется от него. Он описывает следующий опыт: нужно стать так, чтобы кольцо, положенное на дно сосуда, скрылось за его краями; затем, не изменяя положения глаз, достаточно налить в сосуд воды, чтобы все кольцо стало видимым. Из этого опыта Клеомед выводит, что вследствие преломления лучей мы видим солнце, уже зашедшее за горизонт.

Об опыте с кольцом упоминается уже в «Катоптрике» Евклида, в последнем его опытном законе. Но так как это положение не относится к катоптрике и так как о нем не упоминается больше ни разу в самой книге, то его следует причислить к позднейшим добавлениям. Отсюда же необходимо признать, что Клеомед первый научным образом разработал явление преломления лучей. Самые факты были, разумеется, известны гораздо раньше, потому что уже Аристофан (452— 388 до н. э.) в своих «Облаках» упоминает о зажигательных стеклах,

66 ФИЗИКА СЕНЕКИ

а Аристотель ставит вопрос, почему палка, опущенная в воду, кажется надломленной. Древняя физика в большинстве случаев следовала за практикой и считала своей задачей найти объяснения и законы существующих явлений. Новейшая физика, наоборот, часто опережает практику и указывает ей новые пути. Различие это резко определяет методы древней и новой науки о природе.

Оратор, государственный человек и философ, стоик *СЕНЕКА* Младший (2—66 н. э.), оставил в своем сочинении «*Naturalium quaestionum, libri VII*», памятник римских физических воззрений, наиболее замечательный после дидактического стихотворения Лукреция. В этих семи книгах Сенека рассматривает с атомистической точки зрения явления электричества, небесные явления, кометы, воду, воздух и свет, но без систематического подразделения и без проверки собранного материала личным опытом. Тем не менее, книга, в общем, отличается серьезным направлением. Так, например, рассуждая о законах движения планет и даже комет, Сенека скромно замечает, что эти законы, столь темные и запутанные в его время, могут когда-нибудь сделаться ясными и очевидными. Рядом с дельным взглядом на вещи в сочинении встречается, однако, и легкомысленное отношение к фактам, точное исследование которых могло бы привести к дальнейшим открытиям.

Сенека, подобно Аристотелю, считает радугу искаженным изображением солнца и объясняет происхождение цветов смешением солнечного цвета с темными облаками. Он указывает на тождество цветов радуги с теми, которые мы видим при рассматривании предметов сквозь гранёные стекла, но последние цвета считает ненастоящими. Тот факт, что при рассматривании сквозь стеклянный сосуд с водой все предметы, например яблоки, кажутся увеличенными, вызывает у Сенеки одно простое замечание, что нет ничего обманчивее нашего зрения. Нельзя не удивляться, что ученый не умеет извлечь ничего лучшего из своих наблюдений, хотя, с другой стороны, следует принять и расчет, что проследить новое явление во всех его последствиях — задача гения и что римские философы были вообще менее склонны научно разрабатывать новые факты, чем делать из них морально-практические выводы. На моральные сентенции щедр и Сенека. Быть может, в этом следует искать главную причину, почему его сочинение так долго служило учебником физики в средние века.

Самый обширный римский сборник по естественным наукам принадлежит *ПЛИНИЮ* Старшему (23—79 н. э.). Его «*Historia naturalis*» состоит из 37 томов. Плиний по роду образования не был ни математиком, ни философом, а военным. Он участвовал в походах в Германию, занимал при Клавдии и Веспасиане выдающиеся должности и в период командования флотом под Мизеной погиб при извержении Везувия (79). Содержание его 37 книг следующее: I — указатель текста и источников, II — математическое описание вселенной, III—VI — география, VII — антропология, VIII—XI — зоология, XII—XXVII — ботаника; XXVIII—XXXII — медицинская зоология; XXXIII XXXVII — минералогия и применение минералов в искусстве. К сожалению, сочинение в целом представляет собой не более как сборник, в который Плиний включил все, что ему нравилось, а нравилось ему, к сожале-

ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ ПЛИНИЯ 67

нию, по преимуществу все сказочное. Критической оценки материала у него почти нет; самостоятельной переработки нет вовсе. Прежде всего, отметим, что Плиния интересует (как до него Лукреция) действие магнитного камня. Ему принадлежит также басня о пастухе Магнусе, узнавшем магнитную руду по ее действию на гвозди его сапог. Рассказ об уничтожении притягательной силы магнита алмазом показывает, как мало ученый-натуралист был склонен проверять личным опытом приводимые им факты. Из рассуждения Плиния следует заключить, что в его время внимание было более прежнего обращено на магнитные, а быть может, и на электрические явления. К сожалению, эти намеки не имели дальнейших последствий, потому что способность древних к великим научным открытиям уже иссякла, и у науки едва хватило сил держаться на прежнем уровне. Плиний служит наглядным примером того, насколько древний дух исследования был вытеснен беспечным легковерием, падким к чудесам и безразличному удивлению, а также и того, как мало были в это время распространены здравые механические и физические понятия.

Плиний рассказывает, например, что небольшая рыба, имеющая в длину менее фута, прицепившись к кораблю, способна противиться любой механической силе и что в битве при Акциуме такая рыба удержала корабль Антония: «Как бы ни бушевал ветер и ни вздымались волны, это маленькое существо сумеет устоять против их бешенства и остановить корабль, которого не в силах будут удержать ни якоря, ни цепи. При этом животному не приходится делать никаких усилий, а только уцепиться за корабль. Жалкое самомнение людей, и т. д.». Так называемые огни св. Эльма Плиний считает звездами, опускающимися на копья солдат и мачты кораблей. «Если они появляются в одиночку, то приносят гибель, погружаясь на дно судов и сжигая их остовы. Двойные звезды, напротив, благотворны; они предвещают счастливое плавание и отгоняют страшный огонь. Их приписывают, поэтому Кастору и Поллуксу и призывают на море, как богов. Иногда звезды спускаются и на головы людей в вечерние часы, служа великим предзнаменованием». Всего забавнее следующий рассказ. Из Олизиппо (Лиссабона) прибыло посольство к Тиберию с извещением, что в пещере открыт тритон классического вида, трубящий в раковину, и что на том же берегу местные жители видели Нереиду и даже слышали жалобные вопли умиравшей Никсы.

Плиний Младший рассказывает с похвалой о своем дяде, что тот не читал ни одной книги, не делая выписок, и говаривал, что нет такой плохой книги, в которой не нашлось бы чего-нибудь полезного; далее, что он заставлял читать себе вслух во время еды и купанья и, дорожа временем, не любил, если кто-либо из присутствующих просил повторить прочтенное место. Судя по этому, Плинию действительно оставалось мало досуга для переработки воспринятого. По-видимому, римлянам вообще было свойственно не столько предаваться самостоятельным изысканиям, сколько пользоваться готовым материалом, добытым преимущественно трудами греков. В то время как греки хотя бы комментируют своих гениальных людей, римляне прямо и без всякой критики составляют сборники.

68 СИСТЕМА МИРА ПТОЛЕМЕЯ

СЕКСТ ЮЛИЙ ФРОНТИН (40—103 н. э.), подобно Витрувию и Плинию, был выдающимся полководцем. В царствование Нервы ему был вверен главный надзор над водопроводами Рима, и он воспользовался этим, чтобы собрать интересный технический и антикварный материал для своего сочинения «*De aquaeductibus Urbis Romae*». В сочинении этом мы находим интересное замечание, что количество воды, вытекающей из сосуда, зависит не только от величины отверстия, но и от высоты уровня воды в сосуде. Для выяснения характера этой зависимости нам, однако, придется ждать работ Торичелли (1608—1647).

КЛАВДИЙ ПТОЛЕМЕЙ (70—147 н. э.), родом из египетской Птолемаиды, жил примерно с 120 г. в Александрии. Он принадлежит к ученым, которых авторитет держался всего дольше и был признан наиболее единодушно. Греки, римляне, арабы и христиане относились к нему с одинаковым уважением, и, когда, наконец, его авторитет начал колебаться, римская католическая церковь старалась отстоять его всем своим могуществом. Своей громкой славой Птолемей был обязан обширному астрономическому труду¹ «Общий обзор», содержащему в тринадцати книгах все достижения древней астрономии. Император Фридрих II, почитатель арабской учености, приказал перевести это сочинение с арабского на латинский язык, и хотя позднее оно было переведено прямо с греческого подлинника, но сохранило печать своего происхождения в арабском названии «Альмагест». По «Альмагесту», земля находится в покое. Если бы она не покоилась в центре вселенной, то две диаметрально противоположные звезды стояли бы то обе вместе над горизонтом, то обе вместе ниже горизонта. Небесные полюсы не казались бы неподвижными; звезды, по направлению к которым двигалась бы земля, казались бы нам больше, а противоположные — меньше; облака были бы видимы только на западе; тела, брошенные отвесно вверх, не падали бы на прежнее место; наконец, быстрое движение земли давно рассеяло бы ее массу. Сверх того, из учения Аристотеля вытекает, что все земные элементы должны двигаться по прямым линиям, небесные же тела совершать вокруг них круговые движения. Перечисление этих доводов ясно указывает, что Птолемею приходилось опровергать теорию движения земли. Вместе с тем из них можно заключить, что Птолемей, независимо от очевидности движения небосвода, должен был на основании приведенных доводов прийти к твердому убеждению в неподвижности земли. Трудно, в самом деле, представить себе, как можно было опровергнуть подобные доводы в такое время, когда знали одну только аристотелевскую теорию движения, не имея понятия ни о законе инерции, ни о силах притяжения, ни о громадном расстоянии неподвижных звезд, в сравнении с которым земное движение исчезающе мало. Оставлять же эти доводы без всякого внимания могли скорее философы, чем математически развитые астрономы, — скорее теоретизирующие пифагорейцы, чем тщательно наблюдавшие александрийцы.

Вокруг покоящейся земли движется, как уже доказывал Гиппарх, по эксцентрическому кругу луна. Птолемей заметил, однако, что этой

¹ Μεγάλη συνταξις.

ОПТИКА ПТОЛЕМЕЯ 69

гипотезой нельзя объяснить всех неправильностей лунного движения, и принял, что луна движется вокруг земли не по самому эксцентрическому кругу, а по кругу меньшей величины, центр которого движется вокруг земли по упомянутому эксцентрическому кругу. Кривая, описываемая, таким образом, луной, называется эпициклом. Подобные же эпициклы принял Птолемей и для объяснения движения прочих планет — Меркурия, Венеры, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна, — вследствие чего вся планетная система его получила название эпициклической. Правда, простые эпициклы все еще оказались недостаточными для объяснения неправильности планетных путей, и Птолемей был вынужден придумать с этой целью такие сложные схемы, что он сам, как бы извиняясь, замечает: «Легче, кажется, двигать самые планеты, чем постичь их сложное движение». Эта-то сложность и была, в конце концов, причиной падения системы мира Птолемея. В новейшее время за ним не хотели даже оставить славы ее творца, утверждая, что она, в сущности, вся принадлежит Гиппарху. Так как основания эпициклической теории действительно были выработаны Гиппархом и так как сочинения последнего, к сожалению, не дошли до нас, то вопрос этот, действительно, принимает оборот, не совсем благоприятный для Птолемея. Тем не менее, было бы несправедливо не признать за ним заслуг тщательного наблюдателя и широкого вдумчивого мыслителя; тем более, что и его физические и географические сочинения красноречиво свидетельствуют об умственном его величии.

Как в «Альмагесте» Птолемея собраны все современные ему астрономические знания, так в его трактате «*Opticorum sermones quinque*» — собраны все оптические знания, причем Птолемей дополняет их самостоятельными исследованиями. Книга эта долго слыла погибшей, но в начале этого столетия была неожиданно найдена в виде латинского перевода с арабского¹. В ней разбирается теория зрения, отражение света, теория плоских и сферических зеркал и, наконец, преломление света. Интереснее и важнее прочих последняя часть. Птолемей, правда, не знает закона преломления, считая угол падения и преломления пропорциональными в одинаковых средах, но все же довольно точно измеряет углы, образуемые падающим и преломленным лучом с перпендикуляром, для воздуха и воды, воздуха и стекла, стекла и воды. Эти измерения приобрели громкую известность вследствие того, что их считали первыми и единственными опытами древности. Мы на этот счет придерживаемся другого мнения. Опыты новейшей науки представляют собою наблюдения природы с сознательной целью открыть новые стороны явлений или же проверить правильность возникающих гипотез, догадок о новых закономерных явлениях. Птолемей при своих измерениях не имеет в виду ничего подобного. Ясным доказательством этого служит то, что он не делает никаких выводов из своих измерений, не приходит даже к заключению о непропорциональности углов преломления углам падения. С тем же правом можно было бы назвать

¹ В начале XVII века об «Оптике» упоминают как об общеизвестной книге. Затем она исчезает из обращения, и только в 1800 г. Лаплас открывает ее в парижской библиотеке.

70 АСТРОНОМИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ

первым экспериментатором Архимеда ввиду произведенного им определения удельного веса серебра и золота. Но и здесь и там следует констатировать отсутствие сознательного отношения к методу; и здесь и там, наряду с практическим интересом, основной научный интерес исследователя больше математического, чем физического свойства, он больше количественный, чем качественный. Это особенно сказывается в птолемеевой теории глазных лучей. Вопреки Аристотелю, Птолемей, подобно Евклиду, принимает, что лучи исходят из глаза. По-видимому, спор об этом предмете должен был казаться ему бесцельным, тем более, что математическая форма оптических законов остается неизменной, будут ли прямолинейные световые лучи исходить из глаза или из предмета¹.

Законы преломления представляли для Птолемея, как астронома, особый интерес, так как он заметил, что место светил изменяется вследствие преломления лучей в воздухе. Хотя он не измерял астрономической рефракции, но все же он видел ясно, что она в зените равна нулю и что она постепенно возрастает по направлению к горизонту; в преломлении он видел причину того, что околополюсные звезды описывают с виду не настоящие, а сплюснутые круги вокруг полюсов.

В трактате о гармонических звуках — «*Harmonicorum, libri III*» — мы находим мало нового и важного в физическом отношении, хотя эти книги весьма ценны для понимания греческой музыки. Важнее, по строго математической своей обработке, «География» в восьми книгах, заключающая в себе определение большого числа мест между 67° северной и 16° южной широты и указание основных правил для построения географических карт. К «Географии» приложены 27 карт описываемых частей земной поверхности.

Мы называли разбираемый период нашей истории периодом математической физики и не признали великих математиков этого периода физиками в собственном смысле по той причине, что их интерес не был сосредоточен на разработке физики как самостоятельной науки, и что наблюдение не имело у них свойств опытного физического ме-

¹ Современник (?) Птолемея пытался придать его ошибкам теоретическое обоснование. Дамиан, сын Гелиодора Ларисского, говорит в своей «Оптике»: «Очертание наших глаз — не имеющих полой структуры и не похожих на другие органы, приспособленные для восприятия извне — а также их сферическая поверхность доказывают, что свет исходит из них. Дальнейшими доказательствами служит блеск глаз и способность некоторых людей видеть ночью без наружного освещения». «Чтобы свет мог по возможности быстро доходить к предмету, он должен распространяться по прямой линии. Кроме того, он должен падать на предмет в виде круга, чтобы мы могли обозреть возможно бо'льшую часть предмета. Свет, выходящий из глаза, должен, следовательно, иметь форму цилиндра или конуса. Формы цилиндра он иметь не может, потому что в таком случае то, что мы могли бы видеть одновременно, ограничивалось бы величиной зрачка». «Распространение глазного и солнечного света до крайних пределов небосвода происходит мгновенно. Подобно тому как мы видим солнце, затемненное облаком, в самый момент удаления облака, так же мгновенно видим небо, когда поднимаем глаза наши кверху».

Странно, что Дамиану при его философском образовании не бросается в глаза противоречие между «возможно быстрым» и «мгновенным» распространением света.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ФИЛОСОФСКИЙ МЕТОДЫ 71

тогда, который один обуславливает всестороннее развитие нашей науки. Тем не менее, нельзя отрицать, что, благодаря математикам, экспериментальный метод сделал шаг вперед. Натурфилософы пользовались тем научным материалом, который они находили уже готовым, старались объяснить известные им явления природы, но не могли ставить себе задачей подготовку новых данных для физики. Сам Аристотель не составляет исключения из этого общего правила. Он наблюдал неумышленно, но с физической точки зрения отнюдь нельзя признать, чтобы его наблюдениями руководила сознательная мысль открыть нечто новое. Математики тоже были далеки от подобной цели; им тоже не приходило в голову прибегать к опыту в качестве физического метода. Однако по самой природе своей математик относится к делу иначе, чем философ. Он, правда, не ставит себе целью объяснить все, но в интересах своей науки он стремится приложить ее к природе. Поэтому он, с одной стороны, менее притязателен, чем философ, довольствуясь объяснением частных явлений, с другой стороны, он не может относиться к готовому материалу с непосредственностью простого наблюдателя. Математик принужден количественно определить предоставленный ему материал, прежде чем получить возможность положить его в основание своих выкладок. Другими словами, он должен определить измерениями численные отношения явлений, прежде чем будет в состоянии обнять их математически. Астрономия сделалась измерительной наукой ранее других вследствие того, что правильность явлений, подлежащих ее исследованию, облегчала наблюдение. Физика достигла этой ступени несколько позже, потому что физическое явление должно быть сначала известным образом подготовлено для измерения. Евклид, по всей вероятности, не измерял равенства углов падения и отражения, а только вывел его из равенства величины изображения и предмета. Архимед же, определявший весовые потери тел, Птолемей, измерявший углы преломления, — оба делали опыты с целью измерения. Мы видим здесь первый шаг к экспериментальному методу, но еще не самый метод, как мы уже это постарались доказать; но мы охотно допускаем, что при спокойном, ничем не нарушенном движении вперед этот шаг повлек бы за собой другие, так что из математической физики в не особенно отдаленном времени могла бы развиться физика как самостоятельная наука. Математическая физика по отношению к явлениям искала ответа на вопрос: как велико, философия — на вопрос: почему. Только когда обе науки соединяются вместе в экспериментальном методе для решения своих вопросов, возникнет физика в собственном смысле. Древняя философия никогда не стремилась к такому союзу, она постоянно переоценивала свои силы; математика же, по крайней мере, сделала первый шаг к этому сближению.

3. Период упадка древней физики (От 150 до 700 г. н. э.)

Птолемеем можно закончить историю античной науки о природе. Позднее попадают, правда, отдельные достойные внимания исследования, но они — лишь отголоски лучшего времени, делающие еще более ощутительной постепенно надвигающуюся гробовую тишину. До Птолемея физика находилась в таком состоянии, которое, независимо от неблагоприятных внешних условий, позволяло надеяться, что она пробьется к самостоятельности и пустит настолько глубокие корни, что переживет тяжелое время наступающего застоя. Физика освободилась от единовластия философии; математики положили уже начало физическим измерениям; атмосферные явления, таинственная, чудесная сила магнита подстрекали к наблюдениям и объяснениям; практические механики, инженеры и гидравлики начали теоретически обрабатывать свои наблюдения. В первую половину прошлого периода число работников в области физики повсеместно увеличивалось. Но, к сожалению, уже во второй его половине проявляются признаки количественного и качественного упадка, а с началом настоящего периода политические и религиозные влияния, противодействующие развитию науки, приобретают решительный перевес. Умы насильственно выводятся из покоя научных изысканий, вовлекаются в политический водоворот или же окончательно поглощаются новыми уставами религиозной жизни. Юное здание пустеет, начатое распадается и исчезает с лица земли, так что от него не остается даже следов. Владыка мира, Рим, все сильнее привлекает к себе выдающиеся умы. Афинские школы, александрийская академия еще существуют, но прежний дух в них угас; они прозябают, лишены творческой силы. Все, что сознает в себе жизненную энергию, стремится в Рим за почетом и мздой от всевластных цезарей. Рим, однако, не место для мирных ученых, и у римлян нет склонности медленно взращивать скромное растение познания природы. В борьбе за господство над миром, в постоянном столкновении людей между собой, при бешеной погоне за благоволением сильных земли, забота о так называемой мертвой природе должна мало-помалу иссякнуть. Исключительные умы продолжают, правда, время от времени ощущать потребность покинуть торжище людских страстей, отдохнуть под сенью науки, но эти умы ищут

НОВОПЛАТОНИКИ 73

успокоения на лоне старой философии, а не у юной науки, требующей непрестанной и тревожной работы.

Между массой и наукой очень мало общего. Древняя наука аристократична от начала до конца. Древность не имела понятия о популярной физике. Для массы людей земля, наперекор Пифагору, всегда оставалась неподвижным плоским диском; для нее Аристарх не раскрывал хрустального небосвода, и старые божества природы не были низвергнуты со своих алтарей физическими силами. Поэтому лишь только немногие умственные аристократы покидают науку, последняя исчезает бесследно из царства живых и, забытая всеми, покоится в библиотеках, если только время так или иначе не поглощает ее памятников. Там же, где народ приходит в соприкосновение с умственным величием, он видит одно чудесное, а суеверное предание превращает физика и философа в колдуна и прорицателя.

Масса ищет в науке чудес — как прибежища в нужде — или развлечения, и в обоих случаях она требует сильных средств. Хитрые и бессовестные люди умеют обращать такие течения в свою пользу и приобретать влияние обманчивыми личинами знания, увлекающими толпу тем легче, чем менее ей известен истинный облик науки. Так мало-помалу из слабых начатков астрология, алхимия и магия развиваются в систематические «науки», и плевелы заглушают зародыши истинной жизни. Мнимые науки достигают, правда, полного своего расцвета только в средние века; однако уже во времена римского владычества астрологи предсказывают высшим и низшим их судьбу, столь зыбкую в ту пору. Цицерон и Плиний оба открыто восстают против астрологии, Тацит еще сомневается, но Прокл уже пишет работу по астрологии. Несмотря на это, истинная наука могла бы еще проснуться от оцепенения и сбросить с себя наносный сор, если бы не вмешались в дело другие могущественные силы и не приобрели исключительной власти над умами.

С упадком греческой культуры и возникновением христианства юные побегы физических знаний гибнут, и самая наука приходит в забвение. Наступающему бурному потоку переселения народов и победоносному шествию арабов здесь остается уже мало дела. Они не убили науку, они уже нашли ее обмершей и только замедлили ее возвращение к жизни, чем, разумеется, нанесли ей тоже существенный урон, так как продолжение летаргии дало возможность сгуститься наброшенному на нее покрову. Ценные сокровища древней науки погибли в военных бурях того времени; в долгий период ее оцепенения порвалась всякая живая связь с ней, предание успело умереть, и когда мир, очнувшись, вновь ощутил жажду знания, то пришлось в буквальном смысле слова открывать вновь даже связующие нити, потому что от старой науки о природе в памяти новых поколений не осталось и следа.

Новоплатоник *ПЛОТИН* (205—270 н. э.), египетский уроженец, основывает в Риме философскую школу. В лице его последняя из гре-

74 ОТРИЦАНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВСЯКОЙ ФИЛОСОФИИ

ческих философских школ — неоплатонизм — вступает в борьбу с возрастающей силой христианского учения. Его система имеет, поэтому скорее теологический, чем философский характер; проникнутая восточным мистицизмом, она не носит на себе и следов истинной физической философии. Мир в его глазах — непосредственное истечение божества. Душа вращается вокруг своего средоточия, божества, наподобие неба, движущегося вокруг земли; весь мир наполнен демонами, которые в одиночку сопутствуют всякой душе. Душа человека происходит не из природы, но из духа. Из высшей области, где обитают чистые формы, идеи, нисходит она в тело, как в темницу. Плотин презирает не только природу вообще, но и собственное тело, так что ему противно говорить о родине или родителях. Ученики преклонялись перед учителем, и такое обожание перешло, по видимому, в обычай у неоплатоников. По крайней мере, ученики Ямвлиха (одного из преемников Плотина) рассказывают, что по время молитвы они по временам наблюдали его парящим на высоте десяти локтей от земли ¹.

ФИРМИАН ЛАКТАНЦИЙ (340), ритор, обращенный в христианство и прозванный христианским Цицероном, посвящает третью книгу «О ложной мудрости» — «De falsa sapientia» — своего сочинения «Institutiones Divinae» попытке доказать ничтожество всякой философии и, в особенности, всякой натурфилософии (*Mortalis natura non capit scientiam nisi quae veniat extrinsecus*). Всякое человеческое знание сомнительно и противоречиво; к истинному познанию мы приходим только при посредстве «откровения». Характер естественного образования Лактанция виден из следующих примеров, заимствованных из упомянутой выше третьей книги «Укреплены ли неподвижные звезды на небосводе или свободно носятся в воздухе, какую форму и состав имеет небо, находится ли оно в движении или покое, как велика земля и каким образом взвешена или поддерживается в равновесии, — все это такие вопросы, исследование и оспаривание которых подобно пререканиям о каком-нибудь городе в отдаленной местности, знакомом спорящим лишь по имени». — «Могут ли люди быть настолько безрассудными, чтобы верить, будто на противоположной стороне земли злаки и деревья растут вершинами вниз, а у людей ноги находятся выше головы?» Вполне согласно с вышеприведенным мнение св. Августина (354—430), который, не отрицая шаровидности земли, полагает, что противоположная сторона земного шара не может быть населена людьми, так как святое писание не упоминает о подобных существах в числе потомков Адама; а также изречение Евсевия (270—340), отца церковной истории: «Не в силу неведения предметов, возбуждающих их удивление, а из презрения к их бесполезным работам считаем мы все эти вещи суетными и обращаем ум наш к более достойным предметам».

ФИРМИК МАТЕРНИЙ (354) пишет по поручению проконсула Мавортia Луллиана учебник астрологии под заглавием «*Matheseos libri*» (до-

¹ Новоплатонники стараются наводнить и старую науку мистическими началами. Многие из чудес, приписываемых Пифагору, Архимеду и др., являются, вероятно, измышлениями летописцев неоплатонической школы.

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ МАШИНЫ 75

вольно характерно, что римляне называют астрологов математиками). В нем он серьезнейшим тоном излагает правила для поведения астрологов, которым в качестве жрецов солнца и луны следует, по его мнению, держать себя с величайшим достоинством.

ПАПП (390), один из последних александрийских математиков, оставил в своих восьми книгах «Математического сборника»¹ замечательные работы по механике, особенно в восьмой книге. О том, что математические исследования по вопросу о центре тяжести тел не прекратились окончательно после Архимеда, видно из закона, который изложен Павлом в седьмой книге сборника, как самостоятельное его исследование (закон этот впоследствии был вновь открыт Гульденом и назван его именем). Фигуры, описываемые вращением линии или площади вокруг данной оси, находятся в сложном отношении к вращающимся фигурам и путям, описываемым их центрами тяжести. В восьмой книге Папп впервые различает пять так называемых основных машин: рычаг, клин, винт, блок и ворот, и приводит рисунок полиспаста. Ему не удается вывести действия наклонной плоскости из закона рычага, главным образом, потому, что он не умеет отличить действия трения от действия тяжести; но при тогдашнем положении науки о движении этих сведений и нельзя было иметь. Исходя из того факта, что нужна уже некоторая сила, чтобы двигать тело по горизонтальной плоскости и что сила эта должна возрастать по мере увеличения наклона последней, Папп старается вычислить, насколько сила,двигающая тело по наклонной плоскости, должна быть больше силы,двигающей его по горизонтальной. Он обошел бы затруднения, не позволявшие ему найти ответа, если бы спросил, какая часть веса тела нужна для того, чтобы удержать последнее на наклонной плоскости. В этой форме, однако, вопрос ставится более 1000 лет спустя у Кардана, не находя впрочем и здесь точного решения.

Мы отнесли Паппа к концу IV в. на основании общепринятого мнения, которое основано на показаниях византийского лексикографа Свиды (X век). Последний в статьях «Папп» и «Феон», отмечает, что оба эти математика жили одновременно в Александрии в царствование императора Феодосия I (379—395). Между тем в рукописи феоновых таблиц от 913—920 г., хранящейся в лейденской библиотеке, упоминается, что Папп жил при Диоклетиане (284—305). Гульч, издатель сочинения Паппа, придерживается последнего мнения. Кантор² полагает, что Свидя ошибся. Ему кажется невероятным, чтобы два таких математика, как Папп и Феон, одновременно и в одном и там же городе занимались составлением комментария к птолемееву «Альмагесту». Если это действительно так, то Паппа надо отнести на 100 лет назад, т. е. к 290 г.

ГИПАТИЯ (415), знаменитая дочь Феона, долгое время слыла изобретательницей ареометра с постоянным весом и произвольной шкалой, вследствие ссылки Мушенбрёка (*Introductio ad philosophiam naturalem*) на письмо епископа Птолемаиды Синезия к Гипатии. Герланд же

¹ μαθηματικαὶ συναγωγαὶ collectiones mathematicae.

² «Vorles. üb. Gesch. d. Math.»

76 ОТКРЫТИЕ АРЕОМЕТРА. АСТРОЛОГИЯ

(«Ann. f. Physik u. Chemie», Neue Folge, Bd. I) приводит самое письмо, из которого явствует обратное. Именно, Синезий описывает ареометр так подробно, как будто Гипатия не имеет о нем ни малейшего понятия. С другой стороны, прежние отрицатели первенства Гипатии в этом открытии тоже стояли на ложном пути. Дело в том, что в стихотворении «De ponderibus et mensuris», которое приписывают Ремнию Палемону (30 н. э.), ареометр описан подробно, причем упоминается, что уже Архимед определил количество золота «в гиероновом венце гидростатической пробой. Отсюда некоторые, например, Поггендорф в своей «Истории физики», признали Архимеда изобретателем ареометра; другие же отнесли это открытие к I веку н. э. Новые филологи оспаривают, однако, авторство Ремния и приписывают упомянутое стихотворение Присциану (V или VI век). Если вдобавок принять в расчет, что ни Сенека, ни Плиний, ни Гален не упоминают об ареометре и что Синезий описывает этот прибор ученой Гипатии как нечто новое, то следует примкнуть к мнению Герланда, который говорит: «Распространенное мнение, приписывающее Архимеду изобретение ареометра, не основано ни на чем. Вероятно, он был изобретен в IV веке и первоначально служил для медицинских целей».

При возмущении христианской черни в Александрии в 415 г. Гипатия была зверски умерщвлена.

ПРОКЛ (412—485), новоплатоник, про которого рассказывают, подобно Архимеду, что он сжег римские корабли при осаде Константинополя посредством вогнутых зеркал, пытается мнимонаучными доводами объяснить влияние небесных светил на судьбу живых существ. Солнце управляет всеми земными явлениями, ростом плодов, течением вод, сменой здорового и болезненного состояния по временам года. Оно же производит тепло, холод и сухость, сообразно своему отклонению от зенита. Луна, находящаяся всего ближе к земле, имеет на нее наибольшее влияние: воды падают и поднимаются согласно с ее световыми фазами, морские приливы и отливы обусловлены ее восходом и закатом, и от нее же зависит развитие растений и животных. Луна по своей природе влажна; она притягивает пары, вследствие чего от ее действия тела размягчаются и загнивают. Сатурн холоден и сух, находясь всего далее от согревающих лучей солнца и сырых паров земли. Марс сух и горяч вследствие огненной своей природы, проявляющейся в его красном цвете, и т. д.

БОЭЦИЙ (470—524), знатный римлянин, любимец готского царя Теодорика, сделавшийся, тем не менее, безвинной жертвой подозрительности этого варвара, известен как переводчик многих греческих сочинений по философии, математике и отчасти физике. Благодаря ему средние века впервые познакомились с Аристотелем.

АНТЕМИЙ (около 530 г.), строитель знаменитого византийского собора в Константинополе, доказывает, что зажигательные зеркала воспламеняют предметы только вследствие способности собирать множество солнечных лучей в одну точку; и, далее, что лучи, выходящие из одной точки, соединяются снова в одну точку лишь при условии эллиптической формы зеркальной поверхности. Он не верит, чтобы Архимед мог зажечь римский флот при помощи сферического зеркала,

КОНЕЦ ДРЕВНЕЙ НАУКИ 77

но пробует зажигать отдаленные предметы сложной системой плоских зеркал. О Прокле, который был почти, что его современником, он не упоминает при своих опытах. Про Антемия рассказывают, будто бы он поставил в своем погребке паровые котлы и посредством труб провел пар в дом ненавистного ему соседа, римлянина Зенона. Сотрясение было так сильно, что Зенон подумал, будто его дом рушится от землетрясения. Византийский император Юстиниан налагает вечную печать молчания на афинские философские школы (529). Последние семь греческих мудрецов, новоплатоников, отправляются вслед затем в Персию в надежде найти покровителя в лице царя Хозроя I. Кажется, однако, что надежды их не осуществились, потому что при заключении мирного договора (533) между Персией и Византийской империей Хозрой требует для них от Юстиниана свободы исповедания, если не свободы преподавания, и они возвращаются на родину, где умирают в забвении, но в спокойствии. Из этих семи философов всего замечательнее Симплиций, усердный комментатор Аристотеля вообще и его физики в частности; он, впрочем, только приводит чужие мнения, не делая никаких попыток самостоятельного утверждения или отрицания. С этих пор авторитет Аристотеля начинает постепенно усиливаться. Варварские народы до такой степени благоговеют перед греческим гением, что осмеливаются только преклоняться перед его творениями, а не изменять их. Подобно тому, как вследствие упадка естественных наук все человеческое знание вообще сосредоточилось на философии, так и философия мало-помалу стала довольствоваться простым воспроизведением и пояснением Аристотеля. Несмотря на то, что греческим философам не понравилось в царстве Хозроя, последний сам по себе был искренним почитателем философии и заботился о переводе Аристотеля. По его приказанию сириец Уранус перевел сочинение Стагирита, а Сергей — сочинения некоторых других греческих философов. Из этих-то переводов арабы почерпнули свои первые сведения, пока не научились обращаться непосредственно к первоисточнику. Амру, полководец халифа Омара, покорил Александрию в 640 г. Погибли ли при этом остатки библиотеки, неизвестно. Во всяком случае, с покорением Александрии арабами прекращается существование академии и научная жизнь самой Александрии. Когда много времени спустя наука начала давать новые победы, то произошло это не на старой исторической почве Александрии, не в насиженном гнезде философии — Афинах и еще менее в средоточии церковного могущества — Риме. Старые места оказались исчерпанными и лишенными живительных соков. Зато несколько плодотворных семян были занесены на восток, и здесь старая наука пустила новые корни в совершенно девственной почве.

II. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В СРЕДНИЕ ВЕКА

(От 700 до 1600 г. н. э.)

1. Период арабской физики

(От 700 до 1150 г. н. э.)

В 632 г. умер Магомет. Вся жизнь его была посвящена распространению основанной им религии. Рядом с этой главной целью другие не находили места в его душе. О научном стремлении или хотя бы о терпимости к науке не могло быть, поэтому и речи ни у него, ни у ближайших его преемников. «Если науки учат тому, что написано в Коране, они излишни; если они учат другому, они безбожны и преступны». Таково в начале убеждение фанатических арабов, и они служат ему огнем и мечом. Следует, впрочем, отметить, что предание, будто халиф Омар именно этими словами приказал своему полководцу Амру сжечь александрийскую библиотеку, не соответствует действительности.

Чем сильнее, однако, бродило и кипело новое направление, тем скорее оно пришло в состояние зрелости; чем могущественнее оказалась новая вера в борьбе с враждебными влияниями, тем раньше появилось у правоверных стремление к терпимости по отношению к наукам и искусствам. Спустя 100 лет с небольшим после смерти Магомета, когда арабы распространили свою власть на обширное пространство и прочно утвердили свою религию, когда к блестящему двору пышных халифов начали со всех сторон стекаться богатства, а затем также ученые и художники,— ярые защитники веры превратились в столь же ревностных поклонников науки; фанатические арабы, которые недавно еще нанесли последний удар древней науке, оказались с течением времени почти единственными ее почитателями и хранителями.

В V веке несторианские христиане учредили в Эмезе (Сирии) И Эдессе (Месопотамии) знаменитые школы, в которых процветала греческая наука. Когда в 431 г. на Эфесском соборе епископ Несторий был низложен и вынужден бежать, школы эти утратили свою былую славу и мало-помалу закрылись. Сами несториане, однако, только переменили место своей деятельности, перенесли свою школу в Джудайсабур (в персидской провинции Кузистане), где их приняли под свое покровительство цари Сассанидской династии. Несториане эти перевели многих греческих писателей на сирийский язык, а когда арабы завоевали сассанидское царство, то перевели их с сирийского на арабский язык. Такой окольный путь оставался, однако, недолго в практике арабов. Арабские уче-

ПЕРИОД АРАБСКОЙ ФИЗИКИ 79

ные вскоре обратились к подлинникам. Некоторые халифы учредили особые переводные академии, где этим делом занимались с таким рвением, что не только весь Аристотель, но и все комментарии к его сочинениям были переведены с греческого на арабский язык.

Внезапное вступление арабов в науку, уже значительно развитую, недостаток продолжительной подготовки и отсутствие постепенного усвоения, соответственно росту самой науки, объясняют многие особенности арабских ученых. Они входят в здание, происхождение которого им было неизвестно, но которое должно было смущать их своим величием и смелостью. Весь метод греческой науки был мало приспособлен к изучению путей ее возникновения; строго логическая математическая форма доказательств требует только признания, не открывая хода своего развития. Арабы, смущенные массой новых познаний, не имеют возможности относиться к ним критически. Им нужно, прежде всего, знакомство с целым зданием и понимание частных. Всякий, кто постиг то, что знали греки, уже является великим ученым, и ему предстоит не мало потрудиться над передачей своих знаний другим. О дальнейшем исследовании, об умножении научного материала ему нет пока возможности думать. При таких условиях арабская наука приобретает характер комментариев, обнаруживает известную несамостоятельность, боязнь идти далее учителя. Мало-помалу развивается род идолопоклонства перед учителями, слепая вера в авторитет, задерживающая, в конце концов, движение вперед. Филологически-пояснительный характер, покорность авторитету, даже в случаях, доступных прямому наблюдению, и школьное довольство раз установленным, — все эти свойства, присущие всей средневековой науке, являются, в основном, последствием указанных выше обстоятельств. Арабы брали науку такой, какой она им досталась, со всеми ее преимуществами и недочетами. Они усвоили себе не только истинные науки, но и обманы, прикрывавшиеся этим именем. Магия и астрология были у них в таком же почете, как и у римлян, а алхимия обязана им своим особым развитием.

В связи с пассивным восприятием находится и степень интереса, внушаемого арабам отдельными науками, а также последовательность разработки отдельных учений. Арабы увлеклись, прежде всего, философией и относились к величайшему из всех философов — Аристотелю — с суеверным уважением. Далее, они сделались хорошими математиками, удачно дополнив геометрические методы древних введением алгебры, отчасти заимствованной от индийцев. В астрономии они ушли далее древних, по крайней мере, по точности своих наблюдений, и отчасти превзошли своих учителей в медицине и грамматике. Физикой же они занялись всего позже, проявив здесь в отношении метода и материала еще большую зависимость от своих образцов. Оптика, которую наряду со статикой греки разработали лучше других учений, обратила на себя и преимущественное внимание арабов.

80 ПЕРИОД АРАБСКОЙ ФИЗИКИ

В этой области они могут похвалиться наибольшими успехами. К механике они обратились позже оптики, и здесь проявили гораздо меньше самостоятельности. В других отделах физики, в учении о теплоте, акустике, магнетизме и электричестве, их заслуги ¹, насколько мы знаем, почти равны нулю.

По примеру Гумбольдта, арабов не раз называли родоначальниками физических наук в том смысле, какой мы теперь придаем этому выражению ², т. е. изобретателями опытного исследования ³. Не отрицая заслуг арабов в искусстве производить наблюдения в астрономии, медицине и химии, мы не можем разделить этого взгляда по отношению к физике. Как уже было замечено, арабы имели кое-какие достижения только в двух отделах физики, и именно в тех, которые были наиболее разработаны у греков; здесь, помимо разрозненных наблюдений, мы действительно находим у них два планомерно поставленных опыта: измерение углов преломления и определение удельного веса; но известно, что оба эти измерения встречаются уже ранее у греков. Говоря о Птолемеи, мы подробно остановились на них и, как тогда мы не могли допустить, чтобы с них начинался нынешний экспериментальный метод физики, так не можем мы допустить этого и в настоящем случае, где те же измерения были воспроизведены лишь с большой точностью.

Н. Ханыков, переводчик важнейшего для механики арабского сочинения «Весы мудрости», ссылается на приведенную цитату из «Космоса» Гумбольдта, утверждая ⁴, что наше знакомство с арабской физикой, — которая, повторяем опять, представляет мало доказательств применения арабами систематического опыта, — недостаточно и что дальнейшее изучение физической литературы арабов докажет верность взгляда автора «Космоса». Мы, со своей стороны, тоже надеемся, что новые исследования покажут нам физику арабов в истинном свете, и находим в словах Ханыкова прямое подтверждение нашего мнения, что в известной до сих пор арабской литературе нельзя найти экспериментальной физики в нашем смысле. Предаваться же надеждам, что будущее откроет ее существование, мы не видим основания. Если бы арабы действительно владели экспериментальным методом, то могли ли бы средневековые христианские физики, познакомившиеся впервые с древней наукой через их посредство, пренебречь этим методом до такой степени, чтобы от него не осталось ни малейшего следа к тому времени, как занялась заря новейшей физики.

Прямой пользы собственными самостоятельными работами арабы почти не принесли позднейшей средневековой физике. Они произвели более точные измерения и в нескольких случаях про-

¹ Несколько сочинений по теории музыки не имеют научного значения

² «Kosmos» II, p. 248.

³ «Kosmos» II, p. 249: «На эту ступень, которой не коснулась древняя наука, поднялись по преимуществу арабы».

⁴ «Journal of the Amer. Oriental Society», VI, p. 2.

ПЕРИОД АРАБСКОЙ ФИЗИКИ 81

вели далее тропу, «проложенную ранее греками; но, в сущности, они не умножили наследия, полученного от древних, ни в отношении метода, ни в отношении материала. Тем большую пользу принесли они, однако, косвенным образом как наукам вообще, так и физике в частности. Они сохранили для нас памятники древней письменности, которые без них могли бы погибнуть в бурях народных переселений, и, что еще важнее, в самое смутное время этих бурь они поддерживали научную работу и научную жизнь до тех пор, пока христианский мир не созрел до возможности перенять от них заботу о дальнейшем развитии науки.

Вместе с языческими учеными исчезла из Европы и их наука. Христианские ученые, поглощенные заботой о распространении и догматизации своей религии, не находили в то тревожное время досуга хотя бы только вспомнить про языческую науку, а чем долее продолжалось забвение, тем невозможнее становилось воспоминание. Труды древних в области естествознания как бы не существовали для Запада в этом периоде; но когда по удовлетворении духовных интересов он, в свою очередь, почувствовал стремление к просвещению, явилась потребность и, по счастью, возможность идти в буквальном смысле в учение к арабам Испании, чтобы получить от них древнюю науку. Только здесь наука нашла себе убежище, и если арабы не умножили ее богатств, то, во всяком случае, они оказались верными хранителями их — верными хранителями, которые погасили огни, лишь только христианские ученые зажгли свой светоч, чтобы начать проверку и разработку приобретенных сокровищ. Когда политическое могущество арабов в Испании и передней Азии пало, когда халифы, энергичные покровители науки, утратили свою власть, научная деятельность оказалась парализованной, и арабы безвозвратно исчезли из летописей науки. Это внезапное исчезновение арабов из научной области возбуждало столько же удивления, как и внезапный научный их расцвет. Его старались объяснить отсутствием научных наклонностей в характере самих арабов, а процветание науки в их среде — тщеславием их правителей. Неоспоримо, что багдадские халифы первые обратили внимание на науки и что сосредоточием последних был двор властителей. Если, однако, представителями арабской культуры считать только их халифов, то трудно понять, каким образом в отдельных государствах, где правили князья различных династий и племен, арабы могли так легко и быстро выйти из варварского состояния. Внезапный упадок арабской учености вместе с «падением политического господства объясняется отчасти тем, что наука действительно выросла под солнечными лучами покровительства князей и поддерживалась ими, но отчасти и тем, что она не имела еще времени окрепнуть на новой почве, сделаться действительной собственностью, достоянием самого народа, благом, выработанным собственными трудами арабов. Гадать же о том, что произошло бы при других условиях, т. е. если бы расцвет арабов не был насильственно прерван, если

82 КАЛИФЫ ДИНАСТИИ АББАССИДОВ

бы семя успело созреть и дать жизненные ростки, не только невозможно, но и бесполезна. Не все ученые, писавшие по-арабски, принадлежали по национальности к арабам. Напротив, новейшие исследования арабской литературы все более и более убеждают в том, что сирийцы, евреи и персы составляли здесь большинство. Ханыков¹ предлагает, поэтому заменить выражение «арабская цивилизация» более общим выражением «участие востока в цивилизации». Мы не будем выяснять удельного веса различных национальностей, но заметим, что указанная выше безусловная зависимость культуры этого периода от политических судеб арабов вполне оправдывает установившееся название этой науки, как *арабской науки*.

Аббасид *АБУ-ДЖАФАР* (754—775), прозванный Альмансором (победоносным), основал в 702 г. Багдад и пригласил многих ученых, которые переводили научные сочинения с сирийского, греческого, персидского и индийского языков на арабский. Сам он был образованным любителем философии и астрономии и поручил воспитание своих сыновей греческим ученым.

Уже при омайядских халифах, резиденцией которых был Дамаск, арабы принимали или, по крайней мере, допускали к себе греческих ученых; а при Абд-Алмелеке (634-705) христианин Сергей и его сын Иоанн Дамаскин (которому приписывают основательное знание геометрии) были хранителями казны халифа. Научные переводы достигли, однако, полного развития при Аббассидах, которые, невзирая на постоянные войны с внешними и внутренними врагами, оказывались деятельными покровителями и почитателями науки. Альмансор (второй из династии Аббасидов), наследовавший своему брату, коварному и мстительному Абул-Абазу, сам не был чужд жестокости, но не следует забывать, что арабские владыки, несмотря на покровительство, оказываемое наукам, во всех случаях без исключения правили по-восточному.

Третий халиф этой династии и внук Альмансора *ГАРУН-АЛЬ-РАШИД* (786—809) (Гарун справедливый) продолжает дело своих предшественников и не только заставляет переводить классические сочинения, но и заботится о распространении их посредством многочисленных списков.

Триста ученых, как рассказывают, путешествовали на его счет по подвластным ему землям с научными целями, и ни при одном дворе не было в то время столько юристов, философов и поэтов, как при багдадском. Однако, несмотря на весь блеск, окруживший сказочным ореолом личность Аль-Рашида, и, несмотря на неразборчивость его в средствах устранять заподозренных недоброжелателей, целостность халифата начала уже колебаться в его царствование. Испания никогда не признавала власть Аббасидов и еще при жизни Аль-Рашида эдризиды основали

¹ «Journal of the American Oriental Society», VI, p. 107. Еще резче Ханыкова выражается Льюис в своей истории философии (т. II, стр. 34): «Арабской науки, в собственном смысле, не существовало никогда. Философия и наука магометан была от начала греческой, еврейской и персидской. Сами арабы редко посвящали себя научным исследованиям».

независимое государство в Фецце и Марокко, а аглабиды — в Тунисе и Каираване.

Запад познакомился с Аль-Рашидом, главным образом, при посредстве посольства, присланного им по случаю коронации Карла Великого. Посольство принесло в дар императору знаменитые водяные часы, возбуждившие на Западе столько удивления.

КАРЛ ВЕЛИКИЙ (747—814), подобно своему арабскому другу, был покровителем наук. При посредстве английского монаха Алкуина (736—804) он учредил ученое общество, занимавшееся математикой, астрономией, исправлением языка и т. д. Он основал во всей Франции низшие и высшие школы, но все эти благие насаждения погибли после него в общей тьме.

Первый замечательный химик арабов Абу-Муза Джабир или *ГЕБЕР*, как его принято называть, жил около 800 г. Об его жизни известно мало достоверного¹. Гебер остается наиболее выдающимся химиком не только среди арабов, но и в Европе до XV века, несмотря на длинный ряд преемников. Роджер Бэкон в XIII веке называет его еще *magister magistrorum*. От греков Гебер отличался обширным запасом химических сведений и попыткой установить теорию химии. По его мнению, все металлы состоят из большего или меньшего количества ртути и серы, причем под серой и ртутью следует разуметь не общеизвестные под этими названиями вещества, но более чистые начала. При сгорании металл теряет серу; сера есть, стало быть, сгораемая часть металла и основа горения. Позднейшие средневековые химики, принимая учение о составе металлов, интересовались, однако, не столько этой теорией горения, сколько теорией превращения, которую можно вывести из сложного состава (металлов. Гебер является, таким образом, отцом не только химии, но и алхимии. Легко понять, что он не совсем неповинен в деле развития последней. Действительно, если все металлы состоят из одних и тех же элементов, то естественно возникает мысль попробовать превращать их друг в друга, и Гебер сам описывает подобные опыты в своих сочинениях.

Учение о превращении металлов могло возникнуть у арабов тем легче, что философия чтимого ими Аристотеля, в противоположность атомистическому учению, не враждебна идее превращения материи, напротив, она скорее благоприятствует этой теории своей туманностью по вопросу о начальных свойствах вещества². Атомистическое учение прямо противоположно алхимии, и только с общим признанием этого учения в химии алхимия стала немыслима. Действительно, пока признается возможность качественного превращения вещества, можно еще надеяться превратить один металл в другой; но раз установлено,

¹ Cantor («Vorl. üb. Gesch. d. Math.») указывает, что этот Гебер, которого не следует смешивать с позднейшим математиком Абу Мухомед-Джабиром, учеником Садика, жил в 699 — 765 гг. Подробное исследование и оценку разных данных о Гебере можно найти у Коппа (*Kopp*. «Beitr. z. Gesch. d. Chemie», 3 Stuck, s. 13 u. f.).

² Гебер кроме своих элементов привлекает и аристотелевские начала для объяснения основных качеств тел. Вода как основа жидкого состояния играет в его сочинениях выдающуюся роль при плавлении, накаливании и т. д.

84 АЛХИМИЯ

что все качественные различия веществ возникают исключительно в результате соединения или разъединения, и раз доказано, что металлы не могут быть разложены на простейшие элементы, превращение металлов становится невыполнимым. Так как в рассматриваемом периоде не существовало подобных взглядов, то несправедливо было бы относить алхимию в один общий раздел обманов наряду с астрологией и магией, если бы она не сбилась с пути прямого опыта и не вышла на путь мистических и магических гаданий. Пока арабы смешивали и разделяли вещества, стараясь превратить свинец в золото химическими приемами, они оставались химиками; когда же они наряду с веществом, долженствовавшим произвести это превращение, начали отыскивать философский камень, этот источник всякого совершенства, то из адептов науки они превратились в шарлатанов. Вот почему алхимия, вопреки существующему мнению, так же мало совпадает с химией, как астрология с астрономией.

Оба эти заблуждения человеческого ума могли, пожалуй, вначале способствовать развитию наук, служа побуждением для работы; но в средние века они причинили всему естествознанию, а в том числе и физике, больший вред, чем принято думать. Они нанесли урон науке, ослабив мыслительную способность в пользу фантазии, нарушив умственный покой мистическими гаданиями и совершенно отуманив рассудок, который в исследовательской области должен довольствоваться медленным, строго обдуманном продвижением вперед. Беззастенчивость заявления арабских ученых, будто Адам написал первый арифметический трактат, находящийся в их руках, представляет еще не самое резкое доказательство средневекового отсутствия критики; а тот факт, что подобное отсутствие критики сделалось вообще возможным, следует в значительной степени приписать влиянию мистических наук.

Нельзя ли, однако, признать за алхимией какой-нибудь заслуги, и именно по отношению к физике? Алхимия, бесспорно, начала с опытов и принесла в дар химии обширный и ценный фактический материал. Не получила ли от нее и экспериментальная физика первых намеков своего метода? Ответим прямо: ни у арабов, ни у христианских физиков средневековья не замечается ни малейших признаков подобного влияния, и это, по нашему мнению, объясняется тем, что *алхимия — не наука и что беспорядочные гадательные пробы всех возможных химических комбинации не имеют ничего общего с экспериментальным, научным методом*. В средние века ревностно изобретали механические и физические фокусы, вроде получения золота; но научная физика не могла ни в коем случае искать у алхимии указаний научного метода, которым та никогда не обладала.

Чтобы покончить с Гебером, нам остается привести интересную цитату, которую Э. Видеман¹ заимствовал из «Книги милосердия», приписываемой Геберу, по-видимому, без достаточных оснований. Вот эта выписка: «У меня был кусок магнитной руды, поднимавший 100 диргемов железа. Я дал ему полежать некоторое время и поднес к нему другом кусок железа. Магнит его не поднял. Я подумал, что

¹ «Annal. d. Phys. u. Chemie», Neue Folge, IV, 320.

МАГНЕТИЗМ. ГРАДУСНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ 85

второй кусок железа тяжелее 100 диргемов, которые он прежде поднимал, и взвесил его. В нем оказалось всего. 80 диргемов. Значит, сила магнита ослабела, величина же его осталась прежней». Весьма характерно для наблюдательных способностей Гебера, что он умеет с такой точностью отделять массу магнита от его силы; но плохим показателем для пресловутого экспериментального метода арабов служит то, что подобное наблюдение над магнитом не имело дальнейших последствий и что арабы, несмотря на постоянную возню с магнитом, не дошли до лучшего понимания его свойств.

Царствование *АЛЬ-МАМУНА* (813—832), второго сына Гарун-Аль-Рашида, было самым цветущим периодом науки в багдадском халифате. Аль-Мамун получил свое образование у христианского врача Мезуа и не только был любителем просвещения, но и деятельным ученым, по крайней мере, в астрономии. Он основал школы и библиотеки во всех значительных городах своего государства и, чтобы открыть к ним свободный доступ греческой науке, поставил одним из главных условий мира с побежденным византийским императором Михаилом III выдачу значительного числа греческих сочинений.

По его желанию арабы предприняли новое градусное измерение. Две партии ученых измерили в Тадморской равнине градус меридиана, одни к югу, другие к северу (вероятно, числом шагов). Обе партии определили пройденное ими расстояние в 57 арабских миль. Халиф послал затем других астрономов в пустыню Синдхар для определения еще одного градуса. Они определили его в $56\frac{1}{4}$ миль, вследствие чего приблизительная величина была выведена в $56\frac{2}{3}$ арабских миль. Арабская миля заключала в себе 400 локтей, а черный локоть, введенный Аль Мамуном, равен 239,69 парижских линий. Арабские ученые определили, стало быть, земную окружность, считая в наших мерах, в 5948 миль. Сравнительно с первым градусным измерением Эратосфена ошибка уменьшилась с $\frac{1}{7}$ до $\frac{1}{10}$.

Величайшим астрономом арабов был *АЛЬБАТТАНИ* (850—929) (Albategnius латинских переводчиков)¹. Он родился в Баттане, в Месопотамии, и жил в Антиохии наместником халифа. Будучи замечательным наблюдателем, он во многих отношениях исправил Птолемея. Так, им было замечено, что предварение равноденствий достигает одного градуса в 66 лет (в действительности — в 72 года), а не в 100, как утверждал Птолемей; он точнее определил эксцентриситет солнечного пути и открыл, что место земного приближения к солнцу перемещается. Уверяют, что Альбаттани находил теорию Птолемея для объяснения сложного лунного движения неудовлетворительной, что не заставило его, однако, отречься от «Альмагеста». В настоящее время трудно решить, не доставало ли у него смелости отступить от этой системы вследствие чрезмерного преклонения перед ее творцом, или же при всей способности к наблюдению ему не хватало умственной энергии для проложения нового пути независимо от руководящего авторитета. Смотря по высшей или низшей оценке способностей арабов вообще, придется склониться на сторону того или другого предположения.

¹ Мохамед-ибн-Джабир-ибн-Саан Абу-Абдаллах-аль-Баттани.

86 ТОЧНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Альбаттани определил длину года в 305 дней 5 час. 24 сек., т. е. на 2 мин. 22 сек. меньше действительного. Английский астроном Гелли вполне извиняет такую погрешность, находя, что Альбаттани лучше бы сделал, если бы и в этом случае не слишком доверился наблюдениям Птолемея. Сочинения Альбаттани были напечатаны в 1537 г. под заглавием «De scientia stellarum». Знаменитый Региомонтан снабдил это издание примечаниями.

Тотчас после Альбаттани замечается увядание раннего расцвета наук в Багдаде. Власть халифов все более и более ограничивается духовными делами, а светскую отвоевывают у них предводители их наемной турецкой гвардии под титулом Эмир-Аль-Омра. Но и последнее уже не в силах предупредить распадение халифата на части. В 945 г'. Багдад подпадает под власть персидской династии Буджидов; эти последние изгоняются в 1058 г. сельджуками, а в 1258 г. Багдад переходит в руки монголов, которые кладут конец призрачной власти халифов. Здесь нельзя не обратить внимания на одно обстоятельство, красноречиво свидетельствующее об умственной силе арабов: несмотря на то, что с уничтожением власти и богатства халифов наука лишилась существенной поддержки, она не угасла окончательно; повелители сельджуков и даже монголов в Багдаде превращались в покровителей наук, в особенности астрономии. Первый же из монгольских властителей, внук дикого Чингисхана, Иелекухан, приглашал магометанских ученых к своему двору и устроил в Тавризе обсерваторию, где знаменитый астроном Насср-Эддин производил свои наблюдения. Дальнейшим доказательством, что арабская ученость не была совершенно искусственным растением в садах халифов, а находила почву в природных наклонностях арабов, служит ее распространение в среде арабов всей передней Азии и Египта и ее процветание в Испании.

В Испании, где в 756 г. Кордова была превращена в столицу самостоятельного халифата бежавшим из Азии Омайядом-Абдуррахманом I, науки достигли полного расцвета уже в царствование Абдуррахмана III (912—961) и, в особенности, его сына *Хакама II* (961—970). В царствование последнего кордовская академия приобрела такую славу, что затмила своим блеском все школы передней Азии. Хакам поручал особым посланникам в Аравии, Сирии, Персии и Египте покупать рукописи, не щадя денег, или, по крайней мере, приобретать списки, вследствие чего число томов в кордовской библиотеке достигло 300 000. Тамошние профессора не только получали от халифа постоянное жалование за преподавание, но и щедрую помощь для свободного завершения научных трудов. Кроме Кордовы, в Гренаде, Толедо, Севилье, Валенсии и других городах были учреждены высшие школы, библиотеки и ученые академии. Испания сделалась средоточием научной жизни, и, как прежде просвещение шло из Багдада, в переднюю Азию, так теперь оно начало распространяться по Европе из Кордовы.

Несмотря на непримиримую противоположность между магометанами и христианами, последние начали сознавать живительную силу, скрытую в научных работах первых. Началось постепенно возрастающее движение христиан к неверным в Испанию для изучения филосо-

ОТКРЫТИЯ ГЕРБЕРТА. АРАБСКИЕ ЦИФРЫ 87

фии, математики и медицины. Сравнительно с массой населения в Италии, Франции, Германии и Англии науке посвящали себя, разумеется, лишь немногие, а народ, мало способный понимать их стремления и ценить привезенные ими познания, относился к таким людям большей частью как к колдунам. Тем не менее, влияние арабов и их знакомство с древней ученостью отражается все сильнее и сильнее на христианской Европе, пробуждая и в ней интерес к науке.

Кантор в своей «Истории математики» не верит, чтобы христиане посещали или имели право посещать магометанские школы, например кордовскую, так как кордовские халифы не уступали в нетерпимости христианским властителям. По его мнению, арабская наука проникла мало-помалу в соседние вестготские государства, и уже оттуда, из испанской марки по ту сторону Эбро, почерпали свои знания французские и немецкие ученые. Мы не в состоянии разрешить существующего на этот счет разногласия. Во всяком случае, не подлежит сомнению, что арабы прямо или косвенно были учителями христианских ученых. *ГЕРБЕРТ*, впоследствии папа *СИЛЬВЕСТР II* (999—1003), — самый известный из импортеров арабской учености в Европу. Получив первоначальное образование в Орильякском монастыре и других французских школах, он отправился в Кордову и Севилью, чтобы изучать арабскую науку из первоисточника. По мнению современников, он превзошел своих учителей в физике и химии. Ему приписывают изобретение парового органа, колесных часов и т. д. Однако точных сведений на этот счет у нас не имеется. Более достоверно, что он вынес из Испании знание арабской системы счисления. Вначале она, разумеется, составляла исключительное достояние ученых математиков, потому что в документах арабские цифры начинают появляться не ранее XIV столетия, а в массу населения они проникают, кажется, только благодаря знаменитому мастеру счета Адаму Ризе (1492—1559).

Молодой император Оттон III сделал ученого монаха папой и поддерживал его своим влиянием. Оба они умерли вскоре друг за другом. Суеверные монахи после смерти папы рассказывали, что он у сарацинов продал свою душу дьяволу, сохранял скрытно бесенка в чалме, мог существовать в двух различных образах и т. д.

Знаменитейший врач арабов, имевших вообще особенное пристрастие к медицине, был *ИБН-СИНА*¹, прозванный *АВИЦЕННОЙ* (980 — 1037). Он родился в Харматине, в Бухаре, но был персидского происхождения: 17 лет от роду он уже исполнял должность придворного врача бухарского эмира, а после его смерти отправился путешествовать. Впоследствии Авиценна сделался визирем и врачом гамаданского эмира, но вскоре должен был бежать, так как его обвинили в участии в заговоре. Умер он в Испагане. Уверяют, что пристрастие к вину ускорило его смерть. Авиценнов «Канон медицины» целые столетия служил учебником для европейских школ. Еще в XIV столетии Скалигер говорил, что тот не может быть хорошим врачом, кто не изучил

¹ Абу Али Гусейн ибн-Абдаллах ибн-Гуссенн ибн-Али ас-Шейх ар-Рейс Ибн-Сина.

88 ОПТИКА АЛЬГАЗЕНА

вполне Авиценны. Его авторитет подорвали только опытные науки. Авиценна не ограничился изучением медицины; для арабов он, имея большое значение и как философ, именно тем, что, устранив новоплатонические элементы из учения Алфараби (950), он примкнул теснее к Аристотелю. Многие из его сочинений представляют обработку соответствующих сочинений Аристотеля, как показывают самые названия: «Logica», «Physica», «De Caelo et Mundo», «De Aroma», «De Animalibus» и т. д. Несмотря на невоздержанную жизнь, Авиценне приписывают около 100 сочинений¹, из которых, однако, сохранились очень немногие. Знаменитый схоласт Альберт Магнус широко пользовался этими работами.

Подробности о жизни наиболее выдающегося арабского оптика *АЛЬГАЗЕНА* (1038) стали известны только в последнее время. Мы упоминаем о них в конце этого параграфа. Его главное сочинение, переведенное в 1572 г. на латинский язык Ризнером², представляет самое полное изложение оптики в период от Птолемея до Роджера Бэкона. Пока трактат самого Птолемея не был известен, все думали, что сочинение Альгазена — не более как список. Но когда птолемея оптика была вновь открыта, по крайней мере, в переводе с арабского, убедились, что Альгазен во многих отношениях пошел дальше него. Кроме того, Э. Видеман³ в другом сочинении Альгазена «О свете» нашел много ссылок на предшественников, что тоже свидетельствует против нечестного пользования чужими трудами со стороны арабского ученого.

Альгазен различает в глазу 4 перепонки и 3 жидкости; из них: важная — хрусталик. Существование изображений на сетчатой оболочке глаза ему неизвестно; он полагает, что они возникают в хрусталике. Единое же видение двумя глазами он подобно нам объясняет тем, что ощущения, возникающие в соответствующих частях обоих глаз, соединяются общим зрительным нервом в одно. Древнюю теорию зрительных лучей он окончательно отвергает. Как прежде доказывали, что из глаза исходят лучи к каждой точке предмета, так Альгазен доказывает, что, наоборот, от каждой точки светящегося предмета идет множество лучей к глазу. Свет, по его мнению, не может распространяться мгновенно; если открыть отверстие, сделанное в ставне, и впустить свет в комнату, то это, во всяком случае, происходит в течение некоторого, хотя бы и очень короткого, времени. У преемников Альгазена этот взгляд долго не находил сочувствия.

Из зеркал Альгазен рассматривает плоское, два сферических, два цилиндрических и два конических, причем в трех последних парах зеркал у него отражает или внутренняя, или наружная поверхность. Он ставит себе задачей найти для каждого зеркала точку, от которой должен отразиться свет, чтобы из данной точки он попал в данный глаз. Такая постановка вопроса непрактична и представляет мало интереса с физической точки зрения. Мы обычно ищем в зеркале не

¹ Число это, разумеется, преувеличено. В средние века любили приписывать сочинения неизвестных авторов знаменитым ученым.

² Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis, libri VII nunc prim, editi. Ejusdem liber de crepusculis etc. Item Vittellonis, libri X, ed. a. F. Risner, Basil, 1572.

³ «Annal. f. Physik u. Chemie», Neue Folge, I, 480.

ЧЕЧЕВИЦЫ. ВЫСОТА АТМОСФЕРЫ 89

точки отражения лучей от зеркала при данной точке изображения, а наоборот, ищем место изображения, т. е. ту точку, в которой световые лучи, идущие от светящейся точки, вновь соединяются. Тем не менее, средние века сохранили эту задачу в неизменной форме и называли ее альгазеновой. Произошло это, вероятно, лишь потому, что она представляет математический интерес. Сам Альгазен руководился при ее обработке одними математическими соображениями. Вообще, его «Оптика», подобно оптическим трактатам древних, отличается чисто математическим характером как по методу, так, зачастую, и по руководящей цели.

При установлении закона преломления Альгазен не был счастливее Птолемея, но исследования его важны, поскольку он, в противоположность Птолемею, доказывает, что углы падения и преломления не пропорциональны. Этим уже был дан толчок к отысканию закона взаимной зависимости углов падения и преломления. Альгазен описывает способ измерения углов преломления и напоминает, что отклонение луча тем значительнее, чем больше различие плотности преломляющих сред; но собственных измерений он не сообщает. Зато в трактате «О зажигательном шаре» Альгазен, на основании измерений Птолемея, при помощи крайне точных фигур выводит положение: в каждом гладком и прозрачном шаре из стекла или подобного ему вещества теплота солнечных лучей собирается на известном расстоянии от шара, которое меньше четверти его поперечника. Э. Видеман¹ нашел в Лейдене комментарий к этому трактату, который не был известен в средние века.

Увеличительная способность стеклянной чечевицы полусферической формы была известна Альгазену. Странно, однако, что он советует класть чечевицу плоской стороной на рассматриваемый предмет, а выпуклой к глазу. Либо он перенял это наблюдение чисто механически от своих предшественников, что возможно, или же его наблюдательная способность не была особенно тонкой, что труднее предположить после его работ над углами преломления.

Способ Альгазена определения высоты атмосферы нов и интересен. До него принимали, что земная атмосфера распространяется очень далеко, быть может, за пределы луны. Альгазен же заключил, на основании границы сумерек, которую он, по примеру древних, считает равную 18° , что высота атмосферы не превосходит 52 000 шагов. Позднейшие оптики, например Кеплер, доказали неточность этого результата, происходящую вследствие того, что Альгазен заставляет световой луч отражаться от атмосферы только в одной точке, между тем как фактически луч на своем пути через атмосферу отклоняется постепенно. Во всяком случае, даже при величайшей точности этим способом нельзя определить высоты атмосферы, а лишь высоту, до которой атмосферные слои способны еще заметным образом отражать свет.

Рассуждение о том, почему солнце и луна кажутся на горизонте гораздо больше, чем в зените, дает нашему ученому случай выказать ясное понимание связи между видимой величиной предмета и его рас-

¹ «Annal. f. Physik u. Chemie», Neue Folge, VII, 680.

90 ЖИЗНЬ АЛЬГАЗЕНА. МЕХАНИКА АЛЬГАЦИИ

стоянием. Явление это Альгазен, подобно нам, объясняет обманом чувств, а именно: предметы, находящиеся между нами и горизонтом, заставляют нас считать расстояние солнца на горизонте большим, нежели в зените, а мнимое увеличение расстояния вызывает впечатление, будто предмет увеличился.

Так как оптика Альгазена все еще является математической по преимуществу, то неудивительно, что мы встречаем в ней мало интересного по вопросу о цветах. Несколько верных физических положений заслуживают, впрочем, внимания: на глаз влияют свет и освещенные цвета; цвета тел бывают различные, смотря по их освещению; тела, которые в темноте почти черны, оказываются цветными при большем освещении.

Кантор в своей истории математики (стр. 677) считает вероятным тождество Альгазена с Алхайтамом (Абу-Али аль-Гасан-ибн-аль-Хасан ибн-аль-Хайтам). Последний родился в Альбасре и в зрелых летах переселился в Египет. Так как он утверждал, что легко принять меры для уравнивания ежегодных разливов Нила, то халиф Хаким и пригласил его в Каир. Вместе с несколькими учеными Аль-Хайтам отправился вверх по Нилу, но уже на первых порогах должен был убедиться, что осуществление его плана немыслимо. На этот раз он успел оправдаться; но, оказавшись несостоятельным в других государственных делах, он навлек на себя гнев халифа и был вынужден бежать. Смерть Хакима позволила ему снова вернуться в Каир, где он вел уединенную жизнь писателя и умер с 1038 г.

Э. Видеман¹ открыл в Лейдене подлинник комментария Альфаризи (Камал эд-дин Абдул Хасан аль-Фаризи) к обширному оптическому сочинению Абу-Али аль-Хасан ибн-аль-Хайтам аль-Бази. При сличении ссылок этого сочинения на оригинал с ризнеровским переводом Альгазена становится совершенно ясным, что этот аль-Хайтам аль-Бази и наш Альгазен, действительно представляют собою одно и то же лицо.

Нам известно только одно арабское сочинение по механике: *«Книга о весах мудрости»*, которую АЛЬГАЦИИ написал в 515 г. геджры, а русский генеральный консул Н. Ханыков сообщил в извлечении и французском переводе Американскому восточному обществу в 1857 г., общество же обнародовало, снабдив его английским переводом². Несмотря на замысловатое заглавие, в книге, действительно, речь идет о весах, названных весами мудрости за их удивительные свойства. Они служат, главным образом, для определения удельного веса и, подобно нашим, состоят из равноплечевого коромысла с чашками. Только вместо двух чашек здесь имеется не менее пяти, отчасти подвижных, а на коромысле — деления, вследствие чего весы эти можно употреблять как безмен. При помощи только одной подвижной чашки весовые отношения двух тел определяются прямо без посредства гирь. Одна из чашек может быть подвешена под любой из прочих для взвешивания

¹ «Annal. f. Physik. u. Chemie», B. 159, S. 656.

² N. Khanikoff, Analysis and Extracts of «Book of the balance of wisdom» etc. p. 1—128 из «Journal of the Am. Or. Soc.», VI.

УДЕЛЬНЫЕ ВЕСА 91

тел в воде, и, наконец, третья чашка служит для уравнивания предыдущей. Альгацини находят в этих весах следующие преимущества: 1) они так точны, что при грузе в 1000 митхалов указывают на один лишний, если они сделаны искусным мастером; 2) они отличают чистый металл от подделок; 3) они учат распознавать металлические сплавы в самое короткое время и с наименьшим трудом, не подвергая их каким-либо изменениям; 4) они определяют разность веса двух погруженных в воду металлов, которые в воздухе равны по весу, и наоборот; 5) они открывают свойства тел посредством определения веса; 6) они указывают настоящую ценность различных монет, если для них однажды определено соответствующее отношение коромысла; и, наконец, — лучшее их качество, — они отличают настоящие драгоценные камни от поддельных.

Перечисление этих достоинств кажется на первый взгляд чересчур длинным и несколько хвастливым. Однако таблица удельных весов, приложенная автором, свидетельствует, что он при помощи своих весов действительно достигал изумительных результатов. Приводим несколько примеров удельных весов, прилагая в скобках соответствующие величины по новейшим определениям. Литое золото 19,05 (19,26 до 19,3); ртуть 13,56 (13,557); свинец 11,32 (11,389 до 11,445); серебро 10,30 (10,428 до 10,445); литая медь 8,66 (8,667 до 8,726); кованое железо 7,74 (7,6 до 7,79); жемчуг 2,60 (2,684); слоновая кость 1,64 (1,825 до 1,917); кипящая вода 0,958 (0,9597); вино 1,022 (0,992 до 1,038); коровье молоко 1,110 (1,42 до 1,04)¹.

Альгацини сообщает точнейшие правила для устройства и употребления его весов. В основу их положены архимедовы законы равновесия рычага и весовой потери тел в воде, поэтому теоретически они не особенно интересны. Наш автор, однако, подобно большинству арабских ученых, любит подходить к делу издалека и делать по пути отступления, вследствие чего книга приобретает интерес, которого она не имела бы при других условиях. Именно, она наглядно изображает нам состояние арабской механики до Альгацини и в его время.

Предпослав пространное изложение причин, побудивших его назвать свой прибор так, а не иначе, и подкрепив их ссылками на Коран, разъяснив затем основные начала искусств вообще и своих весов в частности, Альгацини перечисляет имена ученых, занимавшихся ранее его устройством водяных весов. Таковы: Архимед (до времен Александра!), Менелай (400 лет после Александра), Саид-бин-Али, Юханна-бин-Юсиф и Ахмед-бин-аль-Фадл (времен Альмамуна), Мухамед-бин-Закария аль-Бай. Ибн-аль-Амид, Ибн-Сина, Абу-Райхан, Умар-аль-Хайями и Абу-Хатим аль-Музафир бин-Измаил (два последние — его современники).

Далее следует описание прежних водяных весов, и только после этого начинается трактат о весах мудрости с планом подразделения и обзором содержания. Главные теоремы касательно центров тяжести изложены, как замечает автор, по Абу-Салю Кузистанскому и Ибн-аль-

¹ Первый арабский ученый, оставивший нам таблицу удельных весов, был Альбируни, умер в 1038 или 1039 г.

92 ПОТЕРЯ ВЕСА В ЖИДКОСТИ

Хайтаму¹. Положения эти, перечисленные друг за другом без пояснений, ни в каком отношении не идут дальше положений, установленных греческими механиками. Тяжелым называется тело, которое собственной силой стремится к центру мира. Сила эта не может быть отнята у тела, и тело не может оставаться в покое, в какой бы то ни было точке, за исключением центра, если ничто его не задерживает, а должно продолжать движение, пока не достигнет центра; здесь его движение прекращается. Когда тяжелое тело движется в жидкости, его движение бывает пропорционально степени разжижения последней, так что движение происходит всего быстрее в наиболее жидкой среде, и проч. Положения, касающиеся весовой потери тел в воде, равновесия плавающих тел, сферической формы жидкости, находящейся в равновесии, и т. д., которые сам Альгацини называет архимедовыми, не представляют ничего нового. Зато следующая глава, где изложена теория легкости и тяжести тел по Евклиду, содержит две ясно сформулированные истины, а именно, что скорость тела измеряется отношением пространства ко времени и что сила тяжести действует на тело в прямом отношении к его массе. Еще интереснее следующие главы.

Альгацини знает, что тела, погруженные в жидкость, теряют часть своего веса и что весовая потеря тем больше, чем плотнее или тяжелее жидкость. От воды он переходит к воздуху. И в воздухе тела должны терять в весе, притом в прямом отношении к его плотности. Отсюда следует: «Если какое-либо тело любого состава переходит из разреженного воздуха в более плотный, оно делается легче; и, наоборот, вес тела увеличивается при переходе из более плотного в более редкий воздух». Но коль скоро за воздух и водой признан некоторый вес (как это уже делали древние, которые один огонь считали абсолютно легким телом), то ясно, что воздух по мере приближения к центру мира должен постепенно уплотняться. Отсюда же само собой следует: «Тяжесть любого тела, имеющего определенный вес на известном расстоянии от центра мира, изменяется соответственно расстоянию от этого центра: по мере удаления от последнего его тяжесть будет увеличиваться, а по мере приближения уменьшается. Поэтому тяжесть тела прямо пропорциональна его расстоянию от мирового центра». Ханыков склонен, на основании этих слов, приписывать арабам некоторое понятие о теории тяготения («в теперешней ее форме), но только ограниченное земными телами, так как Альгацини самым определенным образом исключает небесные тела из круга своих рассуждений. Ханыков отмечает ошибку арабского ученого, принимающего, что тяжесть прямо пропорциональна расстоянию, а не обратно пропорциональна квадрату последнего; но, тем не менее, пытается приписать ему открытие изменяемости силы тяжести в нашем смысле. Мы не согласны с этим взглядом. Альгацини понимает тяжесть совершенно так же, как греки. Для него она во всех случаях постепенное, независимо от месторождения, статическое давление,двигающее тело по направлению к центру и в последнем равное нулю. Он не имеет понятия о действии постоянной, еще менее — о действии изменяющейся

¹ Знаменитый оптик.

КАПИЛЛЯРНОСТЬ. ТЕРМОМЕТРЫ 93

силы, как это видно из того, что он заставляет падающее тело внезапно останавливаться в центре, и говорит всегда только о тяжести, никогда не касаясь падения тел. Единственное новое явление, сообщаемое Альгацини, это изменчивость веса тел в различных слоях атмосферы: мнимое же представление об изменчивости силы тяжести происходит оттого, что он не отделяет понятий абсолютной тяжести и тяжести в воздухе. *Абсолютный вес тел остается и у него постоянным при любом расстоянии от центра, только относительный вес изменяется в воздухе.*

Отделы, следующие за первыми, по преимуществу теоретическими, исследованиями Альгацини, для нас менее интересны. Остановимся здесь, однако, на нескольких отдельных моментах.

В третьем разделе книги описывается сосуд, придуманный Альбируни для определения объема тел. Это — полый сосуд, открытый наверху и снабженный сбоку кругообразно изогнутой вытечной трубкой. Если в него по наполнении водой погрузить тело, то из боковой трубки вытекает вытесненная последним вода. По весу вытекшей воды определяется ее объем, а отсюда и объем исследуемого тела. Альгацини замечает, что обращение с прибором довольно затруднительно, так как вода нередко прилипает к стенкам узкой трубки и вытекает в чашку весов лишь мало-помалу каплями. Из этих слов Ханыков заключает, что арабам было известно притяжение капиллярных трубок. Такой вывод кажется нам несколько рискованным. В самом деле, на основании упомянутого места нельзя составить себе понятия о том, как далеко шло знакомство арабов с явлениями волосности и было ли оно ими хоть сколько-нибудь изучено.

В пятом разделе своей книги Альгацини трактует о воде, служащей для определения удельного веса. Ему известно различие удельного веса различных источников и — что свидетельствует о поразительной точности его наблюдений — известно также влияние температуры на удельный вес воды. Он говорит, что его весы указывают на меньший вес воды летом и больший зимою, прибавляя, что температура воды может быть в точности определена как летом, так и зимою. Это замечание дает основание Ханыкову предполагать, что арабы употребляли водяные весы в качестве термометра. По нашему мнению, данное предположение так же мало обосновано, как и предыдущее.

В заключение Альгацини описывает применение весов для определения горизонтальной линии и для определения времени. Первое ясно само по себе; для второго он дает следующие указания. К плечу длинного коромысла подвешивается водяной резервуар, опорожняющийся в течение 24 часов через боковое отверстие. Если наполненный резервуар уравновесить гирями, то он будет постепенно подниматься и в точности указывать время.

Книга Альгацини знакомит нас со всеми достоинствами и недостатками арабских ученых. Она свидетельствует о поразительной ловкости его автора в устройстве и употреблении измерительных приборов, но вместе с тем и о полной зависимости его исследований от работ греческих механиков. Подобно тому как арабский астроном Альбаттани далеко превосходит греков в точности наблюдений и, тем не ме-

нее, в принципе не решается идти далее своего учителя Птолемея, так и величайший из арабских механиков не уклоняется от Архимеда в методе и даже целях своих научных изысканий. «Весы мудрости» служат новым доказательствам того, что *арабы в существенных чертах остановились на точке зрения математической физики*; что, умея с замечательным искусством применять опыт к случаям, намеченным греками, они никогда не пытались проверять их гипотез, разъяснять сложные явления или сознательно и систематически прилагать опыт к исследованию новых фактов. Насколько у греков замечается избыток склонности и способности создавать гипотезы, настолько у арабов недостает в этом смысле воображения. Уже это одно исключает всестороннее развитие опытного исследования в арабской науке. Мы, правда, допустили выше, что измерительные опыты составляют первый шаг к экспериментальному методу и охотно признаем, что в этом первом шаге арабы оказались искуснее греков; но мы остаемся при убеждении, что до цели им еще было очень далеко и что *экспериментальная физика возникла из измерительной не ранее конца средних веков*.

Сочинение Альгацини не имело, по-видимому, дальнейшего влияния на развитие механики. Во время его появления арабская наука начала уже сильно склоняться к закату, а позднейшим поколениям сочинение это оставалось неизвестным до 1857 г. По этой причине мы знаем об Альгацини только то, что он сообщает сам. Даже имя его известно в точности только благодаря тому, что некоторые главы начинаются словами: «Так говорит Альгацини». Комитет, занимающийся изданием трудов Американского восточного общества, высказал, было предположение, что Альгазен и Альгацини одно и то же лицо. С тех пор, однако, как Видеман ¹ показал тождество Альгазена и Аль-Хайтама, это предположение отпадает само собой, так как автор книги «Весы мудрости» несколько раз ссылается на Ибн-аль-Хайтама. По свидетельству самого автора, книга его была написана в 1121—1122 г. (515 г. геджры), когда царствовал халиф (сельджукский) Абдул Харит-Санджар бин-Маликшах бин-Алпарслан, в городе Юриании (провинция Куваразм), лежащем неподалеку от впадения Окса в Аральское море. Ханыков полагает, что это нынешний Куна-Ургени, находящийся в 4 географических милях от устья Аму-дарьи.

ИБН-РОШТ, или *АВЕРРОЭС* (1120—1198), как его обыкновенно называют, — последний выдающийся ученый у западных арабов. Вскоре после него владычество мавров пало под натиском христиан, и арабская наука угасла навсегда. Аверроэс известен всего более как почитатель и комментатор Аристотеля: «Аристотель положил начало и конец всем наукам. До него не было писателя, достойного упоминания, и никто в течение пятнадцати веков после него не прибавил чего-либо выдающегося к его учению и не указал в нем каких-либо заблуждений. Аристотель — величайший из людей. Бог допустил его достигнуть венца всякого совершенства». В таком духе поясняет Аверроэс творения Аристотеля в трех книгах — кратком, среднем и подробном ком-

¹ См. об Альгазене, стр. 90.

КОНЕЦ АРАБСКОЙ НАУКИ 95

ментариях. Сверх того, он писал отдельные трактаты об аристотелевских проблемах (между прочим, физических), не осмеливаясь, разумеется, идти далее великого учителя. Тем удивительнее, что в очерке об Альмагесте (где он, в сущности, разделяет взгляды Птолемея) Аверроэс замечает: вычисления верны, но действительное положение вещей все-таки не объясняется этой системой. Теория эпициклов и эксцентриситетов, по его мнению, неправдоподобна. Он выразил пожелание, чтобы эти слова побудили к исследованиям других ученых, так как сам он уже слишком стар.

Аверроэс родился в Кордове, где его семья занимала высокие общественные должности и пользовалась большим почетом. Сам он был любимцем халифа Юсуфа и его наследника Якуба Алманзора в начале его царствования. В это время правоверное магометанское духовенство приобрело такую силу, что добилось ссылки Аверроэса за его ереси, заставив халифа издать эдикт, где он объявлял, что бог приуготовил адский огонь для всякого, кто безбожным образом осмеливается утверждать, будто истина познается разумом. Эдикт был, правда, скоро отменен, и Аверроэс вызван обратно, но его конец был уже близок. Он умер в Марокко.

Вообще в этот период ислам изменил свое направление. Под давлением внешних условий¹ узкий догматизм и фанатизм приобрели решительный перевес. Арабской философии пришлось вести борьбу за свое существование, и исход борьбы сложился не в ее пользу. Имя Аристотеля сделалось позорным, философов стали презирать, а творения их предавать истреблению. На развалинах науки торжествовал свирепейший магометанизм. Вот причина, почему Аверроэс имел мало влияния на своих единоверцев и почему его сочинения так редко встречаются в подлиннике. Зато евреи и христиане преклонялись перед ним почти четыре века и распространили его сочинения на многих еврейских и латинских переводах.

¹ После смерти Гишама (1036), последнего из омаядских халифов, испанско-арабский халифат перестал существовать как единое целое. Отдельные государства с трудом отбивались от христианских врагов. Призванные из Мавритании моравиты и амуравиды еще раз успели остановить натиск христиан (1086), но уже в 1236 г. владения арабов ограничивались одной Гренадой.

2. Христианский период средневековой физики (От 1150 до 1500 г. н. э.)

Когда с окончанием переселения народов на западе Европы водворился сравнительный покой, христианство успело окрепнуть извне и внутри. Возникло вновь стремление к познанию. Оно обратилось на первых порах к тому, что было ближе под рукой, что продолжало всего более занимать умы, именно к религиозным вопросам. В тишине монастырских стен стало замечаться постепенно усиливающееся движение мысли, и потребность истолкования догматов сделалась мало-помалу настолько настоятельной, что знаменитый епископ Ансельм кентерберийский выразил, наконец, это общее стремление формулой: *Credo ut intelligam* (т. е. верю, чтобы понимать).

Простого понимания смысла догматов было, однако, недостаточно. Требовалось убеждение в их истинности, их нужно было доказать. Ансельм приводит уже знаменитое онтологическое основание бытия божия, по которому бог, как совершеннейшее существо, необходимо должен существовать, потому что в противном случае он не был бы совершенным. Для доказательства требуется, между прочим, строгая логика, а для защиты положений, подвергающихся нападкам, ловкая диалектика. То и другое можно было найти только у древних философов, и потому христианская теология устремилась к памятникам классической образованности, и христианские вероучители превратились в философов. Правда, не в мыслителей свободного греческого типа, которые пытались объяснить мир гениальным, независимым и свободным умом, но в философов *ad hoc*, поставивших себе единственной целью установить догматы на рациональной почве, неизменно признавая веру нормой познания, церковное учение критерием всякого исследования. «Истинно ли то, во что вселенская церковь верует сердцем и что исповедует устами, не должен подвергаться сомнению ни один христианин. Но веря непоколебимо, любя свою веру и живя согласно с нею, пусть каждый ищет в смирении оснований для своей истины. Если он будет в состоянии постичь их, то пусть возблагодарит бога; если же нет, то да не восстанет он против истины, а, преклонив главу, да благоговеет» — так говорит Ансельм. Философия не должна учить ничему, чему не учит в то же время церковь, но она должна доказывать истину церковного учения свойственным ей способом, т. е. независимо от всякого опыта. Ансельм рассказывает, что

ХРИСТИАНСКИЙ ПЕРИОД СРЕДНЕВЕКОВОЙ ФИЗИКИ 97

братия просила его изложить письменно мысли, которыми он делился с ними устно. «Они просили меня не заимствовать никаких решительных аргументов из писания, но следовать обыкновенным и всем понятным приемам доказательства, соблюдая правила обыкновенных прений».

Ограниченная таким образом философия, известная под именем схоластики, господствовала в различных видоизменениях в течение всего средневекового периода. Внешним образом она продолжала держаться указанной выше программы, но фактически способствовала отделению познания от веры и мало-помалу отвела первому особую область, исключаящую веру. Первым схоластикам были известны лишь немногие сочинения древних писателей. Со всеми сочинениями Аристотеля они познакомились только в XIII веке через посредство арабов. С этого времени начинается не резкое и внезапное, но, тем не менее, положительное и постепенное видоизменение и расширение философии. Естественнаучные сочинения Аристотеля открыли перед схоластиками путь к изучению природы и до известной степени поколебали исключительное господство религиозного элемента в философии. В чтимом ими Аристотеле «схоластики должны были признать естествоиспытателя, и естествознание вступило в умственный кругозор западных ученых. Вдобавок, христианские ученые, лично отправлявшиеся отыскивать аристотелевскую мудрость у арабов и перенимавшие от них попутно и точные науки, не только переносили эти познания на родину, но и должны были стремиться найти для них приложение. XIII век особенно выдается в этом отношении. Ему мы обязаны знакомством со многими важными научными открытиями, основанием первых университетов христианской Европы — в Болонье, Салерно, Падуе, Париже, Оксфорде, Кэмбридже и др. — и, наконец, даже самостоятельными работами в области естествознания. Все это вместе, а также признаки общего оживления научного интереса позволяли ожидать близкого возрождения науки.

К сожалению, следующие столетия не оправдали ожиданий, возбужденных в XIII веке. Проницательные богословы усматривают в начинающемся разделении умственных интересов между церковными и научными вопросами тяжкий урон для церкви. Уже Бернар Клервосский (1091—1153) признает всякое стремление к знанию ради знания языческим и ценит знание, лишь насколько оно служит для христианского назидания. На парижском соборе 1209 г. и на латеранском при Иннокентии III, в 1215 г., физика и математика Аристотеля подвергаются формальному запрещению на том основании, что они породили уже ереси и могли впредь порождать неведомые лжеучения. Григорий IX приказал в 1231 г., чтобы книги по естествознанию, запрещенные парижским собором, не были дозволены к обращению ранее тщательного их испытания и очищения от всякой тени превратных толкований. Стремление ограничить знакомство с Аристотелем одними философскими его сочинениями, тем не менее, не удалось. Уже в 1254 г.

98 ХРИСТИАНСКИЙ ПЕРИОД СРЕДНЕВЕКОВОЙ ФИЗИКИ

парижский университет одобрил полное издание сочинений Аристотеля, а столетиями двумя позже никто не мог получить академической степени без удовлетворительного знания всех творений Аристотеля. Церковь примирилась с греческим мудрецом, убедившись, что для нее страшна не книжная ученость его схоластических последователей, которых можно было всегда контролировать и держать в руках, а независимое естествознание, которое шло вперед своей дорогой, не подчиняясь авторитетам и ускользая от церковного контроля.

Подобного независимого образа действия нечего было бояться от схоластики, вполне приспособленной к тому, чтобы в области естественных наук остановиться и успокоиться на том уровне, который был указан изучением Аристотеля. На схоластиках повторилось по отношению к древней учености то, что мы уже видели на арабах. Наука древних предстала перед их неподготовленными умами в таком подавляющем величии, что желание освоиться с нею должно было заглушить все другие стремления. Когда же цель эта была до известной степени достигнута, схоластики успели до того свыкнуться с вытверженной книжной мудростью, что для них стало невозможным самостоятельно находить дорогу от книги к природе. В естественнонаучных сочинениях Аристотеля они поэтому изучали не природу, а самого Аристотеля, и так как взоры их с самого начала были устремлены на него, то под конец всякое изречение мудреца приобрело для них непреложность церковного догмата. От объяснения Аристотеля к объяснению природы они сами не подвинулись ни на шаг, и всякий, уклонившийся от этого учения, становился в их глазах еретиком, столь же преступным, как и человек, отрицавший церковные догматы. Схоластика смотрела на физику как на побочное занятие, и уже по этому одному нельзя было ожидать, чтобы она подвинула ее вперед.

Когда правильный метод физического исследования успел накопить уже достаточный материал, то философия может оказать незаменимые услуги при разработке этого материала и при определении общих законов, управляющих явлениями. Мало того, она может на основании имеющихся данных наблюдения указать новые пути. Но зато без положительных фактов философия носится по воздуху как чистое умозрение. Философия, как и математика, приложима к естествознанию только в тех случаях, когда дан материал, который остается только подвергнуть формальной обработке. Неудивительно, если средневековая философия, не опиравшаяся ни на какое опытное знание, продолжала без устали пережевывать материал, доставленный ей Аристотелем и, наконец, за недостатком новой пищи, начала ставить себе самой те бессодержательные вопросы, которые кажутся нам до такой степени смешными вследствие невозможности решить их в ту или другую сторону. Схоластики желали диспутировать, но не желали наблюдать, и потому им пришлось выбирать такие задачи, на разрешение которых наблюдение не могло влиять ни в каком

отношении. С этой точки зрения вполне уместны споры о природе ангелов, их одежде, языке, возрасте, чинах и даже пищеварении. По несчастью, эти с виду невинные упражнения фантазии имели ту невыгоду, что они позволяли схоластике не ощущать недостатка реальных основ и, внушив ей колоссальное самомнение, дали право отрицать опыт и признавать себя компетентной в научных вопросах. Еще в начале XVII столетия некий иезуит заявил патеру Шейнеру, желавшему показать ему в зрительную трубку вновь открытые солнечные пятна: «Напрасно, сын мой, я дважды прочел всего Аристотеля и не нашел у него ничего подобного. Пятен нет. Они проистекают из недостатков твоих стекол или твоих глаз».

Хотя масса схоластиков продолжала вести диспуты без всякого содержания, но мало-помалу и в этой среде начало выявляться стремление к реальному, причем противоположность между реальным и схоластикой обнаружилась с такой яркостью, что от их сближения произошло не столько развитие, сколько разложение средневековой философии. Величайший из схоластиков, Фома Аквинат (1226—1274), *doctor angelicus*, канонизированный в 1323 г., не настаивает на доказательности всех церковных догматов. Он отличает естественное богословие от откровения и тем самым отделяет до известной степени знание от веры. Столь же знаменитый Альберт Великий, *doctor universalis*, при рассуждении о сотворении мира отвергает положение: «из ничего не возникает ничего» для богословия, но для физики считает его основным правилом. По этим уловкам можно уже видеть, что философия начала поднимать голову, а ее представители принялись снова учить вещам, не одобряемым богословием. Иоанн Бресканский в 1247 г., оправдываясь в своих «заблуждениях», замечает, что положения, признанные епископом еретическими, были высказаны им в философском, а не в теологическом смысле. Епископ, разумеется, не удовлетворился этим объяснением, и впоследствии многие ученые подверглись за философские толкования богословским карам: но наперекор последним ученые не переставали прибегать к окольным путям, чтобы таким образом открыть для философии возможно большую свободу развития. Фома Аквинат уже придает опыту большое значение, как видно из того, что он не считает онтологическое доказательство Ансельма непреложным и ставит на его место космологическое, согласно которому в бытии бога, как творца, можно убедиться, так сказать, опытным путем, из факта существования вселенной. Ошибочно было бы, впрочем, заключить из приведенного примера, что Фома Аквинат во всех случаях руководился опытом. В его главном сочинении «*Summa Theologiae*» встречается только одна глава, посвященная вопросам физики, которая вдобавок вполне согласна с аристотелевским учением. Зато он близко знаком с миром ангелов и выдает за верное, что звезды приводятся в движение не физическими, а духовными силами, по всем видимостям, — ангелами.

100 АЛЬБЕРТ ВЕЛИКИЙ

Последний из великих схоластиков, *ВИЛЬГЕЛЬМ ОККАМ* (1270—1347), *doctor invincibilis*, отвергает реальное существование общих понятий, признавая его лишь для отдельных предметов. Так как эти последние открываются только наблюдению и оно одно способно решить, существуют ли предметы или нет, то уже первым положением Оккама опыт признается единственной основой нашего познания; а схоластика, безоговорочно считавшая свои общие понятия чем-то реально существующим и непреложным, рушится сама собой. Впрочем, Вильгельм Оккам не довел своего учения до конца. Отдавая должную справедливость его стремлению основать философию на опыте, его отнюдь нельзя назвать опытным философом, а всего скорее упрямым казуистом, не уступавшим ни в чем завзятейшим из старых схоластиков. Ему, главным образом, принадлежит учение о двоякой истине — философской и богословской. Этой уловкой он, очевидно, пытался обеспечить за своим учением видимость подчинения церкви. Объявляя, с одной стороны, все вероучения недоступными доказательству, он, с другой стороны, ставил в заслугу *веру в недоказанное*. Церковь, несмотря на все обходы, угадала опасность эмпиризма, скрытого в философии Оккама. Она предала смелого новатора проклятию и уничтожила его сочинения. Покровительствуемая и поддерживаемая церковью старая схоластическая наука продолжала, таким образом, прозябать и давить человеческую мысль, пока, наконец, поразительные достижения опытных наук, окрепших в следующие века, не ниспровергли авторитета Аристотеля, а с ним вместе и господство схоластики, по крайней мере, в сфере естествознания.

Упомянутый выше *АЛЬБЕРТ ВЕЛИКИЙ* (1193—1280), собственно граф Альбрехт Больштедтский, был не только ученым богословом, но также — и притом с большим правом, чем многие из прославленных схоластиков — знаменитым физиком, химиком и математиком. Он изучил диалектику в Париже, математику и медицину в Падуе, метафизику в нескольких местах и, наконец, вступив в 1223 г. в доминиканский орден, слушал еще и богословские лекции в Болонье. С 1229 г. он сам преподавал в Кельне и Париже; затем занимал высокие церковные должности; а в старости, сложив с себя добровольно звание епископа регенсбургского, он снова занял прежнюю кафедру в Кельне, где и умер в престарелых годах. Альберт Великий знал Аристотеля в переводах в совершенстве и даже был знаком с арабскими комментариями к Аристотелю. Его химическая и механическая изобретательность до такой степени поражала современников, что приобрела ему славу колдуна и мага; в то время это значило еще не много, но впоследствии сделалось довольно опасным. Рассказывают про устроенный им автомат, который отворял дверь на стук и даже заговаривал с входящим, но, возбудив негодование одного коллеги своим человеческим подобием, был разбит им на куски. Далее, будто по случаю какого-то праздника Альберт силою волшебства устроил среди зимы сад, в котором зеленели деревья, благоухали цветы, росла свежая трава,

словом, царила весна во всей своей красе. В этом не трудно угадать преувеличенное описание пиршества, данного в теплицах монастырского сада; насчет же устройства автомата не сохранилось никаких подробностей.

Общее собрание сочинений Альберта Великого, «Opera omnia», изданное в 1651 г. в Лионе (21 том in folio), вообще интересно для истории химии и описательных естественных наук. Тем не менее, здесь нельзя найти ни одного механического или физического открытия, которое могло бы оправдать в наших глазах громкую славу Альберта. Самостоятельным исследователем он отнюдь не был: он даже хвастается своим умением излагать древние науки так, чтобы нельзя было догадаться о его личных взглядах. Главная заслуга Альберта заключается в том, что он своими работами, а еще более своей преподавательской деятельностью проложил дорогу естественным наукам в христианскую Европу и сумел возбудить к ним живой интерес.

В своих сочинениях Альберт упоминает о двух изобретениях, историю которых мы сообщим здесь вкратце, хотя он и не выдает их за свои. Эти изобретения — компас и порох — принадлежат периоду, гораздо более отдаленному, но становятся известными Западу лишь в XIII веке и только в течение следующего столетия входят в общее употребление.

Компас, по новейшим исследованиям, был с давних пор известен китайцам. В одной рукописи 121 г. н. э. говорится, что посредством магнитной руды можно сообщить стальной игле известное направление; а в китайской естественной истории, составленной между 1111 и 1119 гг., указано даже, что игла, натертая магнитом, не указывает прямо на юг, а отклоняется приблизительно на 15° к востоку. В одной рукописи XI века сообщают, как о вещи давно известной, что китайцы употребляют магнитную стрелку для указания направления на море и при путешествиях на суше. Китайские императоры во время переездов через пустынные азиатские степи издавна имели магнитные стрелки в своих паланкинах. Первые известия об употреблении компаса у арабов относятся к 1242 г. Араб Байлак рассказывает, что в темные ночи сирийские мореплаватели кладут обыкновенно на воду крест из лучинок, а сверху магнит, который своими концами указывает направление. Арабы, впрочем, знали компас еще раньше, судя по одной цитате¹ в сочинениях Альберта Великого, которая заимствована из древней арабской книги и положительно указывает на знание свойств магнитной стрелки. Подобное же указание встречается в одном французском стихотворении Гюйо (1181), где магнитная стрелка, с ясным намеком на ее употребление моряками (marins), называется *marinette*. Из всего сказанного очевидна неосновательность притязаний итальянца Флавия Джиио или Джиири из Амальфи², которому обыкновенно приписывают изобретение компаса в 1302 г. и которому по этому случаю поставлен в Неаполе бронзовый памятник. Возможно, что Джиио много способ-

¹ Angulus quidam magnetis est, cujus virtus convertendi ferrum est adzorum id est, ad Septentrionem, et hoc utuntur nautae.

² Уже Кардан (1501—1576) не признает Джиио изобретателем компаса, зная, что последний был гораздо ранее известен Альберту.

102 ОГНЕСТРЕЛЬНЫЙ ПОРОХ

ствовал распространению компаса, перенес стрелку с деревянной крестообразной подставки на стальной штифтик и придумал для нее оправу, но точных сведений на этот счет не существует. Вместе с тем считаю необходимым отметить здесь вполне определенно, что при заимствовании компаса мы не получили одновременно с Востока сведений об отклонении стрелки от северного направления. Это последнее явление было открыто в Европе гораздо позже и совершенно независимо от китайцев. Новые наблюдения над магнитом вообще не оказали непосредственного влияния «а науку. Прошли еще столетия, прежде чем это практическое изобретение обратило на себя внимание теоретической физики,— печальный признак ее состояния в те времена.

История *пороха* еще темнее истории компаса. Если под порохом понимать простую смесь угля, серы и селитры, то оказывается, что смесь эта была известна Альберту в 1250 г. и еще гораздо раньше Марку Греку в VIII столетии. Тот и другой советуют растирать и смешивать 1 фунт серы, 2 фунта угля и 6 фунтов селитры в ступке; но очевидно, что здесь имеется в виду не огнестрельный порох в нашем смысле. Марк указывает, что если набить эту смесь длинную тонкую трубку и положить последнюю в огонь, то трубка полетит по воздуху; и, далее, что если завернуть немного этого порошка в бумагу и крепко связать, то можно воспроизвести звук, подобный грому¹. Как взрывчатое средство смесь употреблялась, по мнению одних, в XII веке при горных работах, например на Раммельсберге в Гарце; но другие положительно отрицают это, уверяя, что здесь смешано пережигание, применявшееся для разрыхления камней, со взрывов посредством пороха. Что касается употребления пороха для огнестрельного оружия, то точных сведений об этом не имеется до второй половины XIV века. Имеются сведения, что в 1338 г. французский военный интендант ставит уже порох в число статей расхода; в 1360 г. в Любеке сгорает ратуша вследствие неосторожности порохового мастера. Оба эти случая касаются, может быть, взрывчатой смеси, но следующий случай не подлежит уже сомнению: в 1365 г. крепость Эйнбек отстреливалась из «громового ружья», а в 1378 г. в Аугсбурге жил литейщик огнестрельных орудий, занимавшийся своим искусством еще под покровом глубокой тайны. Если неизвестно в точности, когда именно порох начали употреблять для огнестрельного оружия, то еще менее достоверно можно указать, кто первый начал употреблять его с этой целью. Ведь

¹ Марка Грека относят обыкновенно к VIII веку, потому что врач Мезуа, живший в царствование Аль-Рашида, упоминает о нем в своих сочинениях. Так как, однако, не вполне доказано, что тот Марк тождественен с нашим, и так как арабская рукопись 1225 г., трактующая о приготовлении зажигательных снарядов для военных целей, не упоминает о селитре, то некоторые полагают, что арабам селитра не была известна в 1225 г. и что сочинение Марка, заимствованное из арабских источников, написано позже этой даты. Правда, подлинность сочинения Альберта «De mirabilibus mundi», в котором приведен рецепт Марка, находится под некоторым сомнением; но, с другой стороны, Р. Бэкон в своем «Opus majus» 1267 г. называет препарат Марка известным и весьма распространенным, что указывает на более раннее происхождение упомянутой книги. Во всяком случае, рискованно заключать о незнании арабами селитры в 1225 г. на основании умалчивания одной рукописи (*Kopp, Beitr. z. Geschichte der Chemie*, III, Anm. 148).

ПИСЧАЯ БУМАГА. ЖИЗНЬ РОДЖЕРА БЭКОНА 103

Бартольд Шварц — это только одно имя, а про человека, носившего его, мы не знаем ничего за исключением несчастного опыта. Есть основание предполагать, что порох, подобно компасу, был известен китайцам и индийцам задолго до XIII века и служил для устройства фейерверков и метательных снарядов. От них изобретение это перешло неизвестно когда именно к арабам, а Западная Европа познакомилась с ним уже после крестовых походов в результате сношений с арабами. Были ли также известны арабам металлические огнестрельные орудия, или же открытие последних принадлежит одним европейцам, остается невыясненным.

История *писчей бумаги* также не открывает имени ее первого изобретателя. Бумага, выделяемая из хлопка, давно известная китайцам, была в XI веке ввезена в Испанию арабами и уже оттуда проникла в Европу. Тряпичная бумага — чисто европейское изобретение, весьма распространенное в XIV веке и, вероятно, известное уже в XIII в. В венской императорской библиотеке хранится грамота императора Фридриха II от 1243 г., а в лондонском Тауэре письма Альфонса X от 1272 и 1278 гг., написанные на тряпичной бумаге.

РОДЖЕР БЭКОН (1214—1294), один из даровитейших, но в то же время и наиболее гонимых судьбой натуралистов, родился в Ильчестере в графстве Сомерсет. Закончив университетское образование в Оксфорде и Париже, он в 1250 г. вступил в францисканский орден в надежде получить возможность продолжать спокойно свои работы по математике, механике, оптике, астрономии и химии. Его ожидало самое жестокое разочарование. Ученые занятия и слава, которую он приобрел своими познаниями, неприятно затрагивали самолюбие других монахов, а резкие отзывы его о невежестве и безнравственности духовенства довели до озлобления. Братья по ордену превратились в неумолимых врагов, которые, между прочим, не могли простить Бэкону презрительного равнодушия к их схоластическим перебранкам. По проискам францисканских монахов его обвинили в ереси и колдовстве, лишили кафедры в Оксфорде и заключили в темницу. Папа Климент IV, расположенный к Бэкону, освободил его, но после смерти Климента начальник ордена францисканцев добился того, что мирного ученого, укрывшегося во Франции, схватили и вновь посадили в тюрьму, предав запрещению все его сочинения. Вторичное заточение продолжалось 10 лет, и когда в 1288 г. Бэкон был освобожден, он, 74-летний старик, уже, конечно, недолго мог заниматься опасными работами. Все сочинения Бэкона написаны до его второго заключения.

Бэкон — самая блестящая личность XIII века не столько по самостоятельным открытиям, сколько по методу своих исследований. Он не был схоластическим философом, пояснявшим мимоходом аристотелевскую физику, а замечательным математиком, видевшим в пренебрежении этою точнейшею из наук корень заблуждений схоластической учености. «Математика — дверь и ключ к науке», говорит он в одной из глав своего «*Opus majus*». Он занимался астрономическими наблюдениями, химическими опытами, механическими конструкциями, оставляя в стороне духовные споры. Это и заставляет выделить его из рядов схоластических натурфилософов и признать его первым истинным есте-

104 МЕТОД РОДЖЕРА БЭКОНА

ствоиспытателем средних веков и предшественником экспериментальных физиков. Р. Бэкона нередко сопоставляли с его еще более знаменитым соотечественником, лордом-канцлером Бэконом Веруламским. Утверждали даже, что последний в значительной степени воспользовался трудами первого и отчасти даже просто скопировал их. Сходство этих лиц в приверженности их к опытному методу и в перечислении трудностей, с которыми научному методу приходится бороться, неоспоримо. Тем не менее нельзя примкнуть к вышеупомянутому мнению, так как невозможно доказать, чтобы Бэкон Веруламский был прямо или косвенно знаком с каким-нибудь из сочинений своего предшественника.

Роджер Бэкон отстаивает экспериментальный метод с энергией, которая не может нас не удивлять, принимая во внимание, что это имело место в XIII веке: «В каждой науке необходимо следовать наилучшему методу, т. е. изучать каждую вещь в надлежащем порядке, ставить первое в самом начале, легкое перед трудным, общее перед частным и простое перед сложным. Изложение должно быть доказательным. Последнее невозможно без опыта. У нас имеется три средства познания: авторитет, мышление и опыт. Авторитет ничего не стоит, если утверждение его не может быть обосновано; авторитет не учит, он требует только согласия. При мышлении мы обыкновенно отличаем софизм от доказательства, проверяя вывод опытом». «Экспериментальная наука — царица умозрительных наук, она имеет за собой три важных преимущества. Во-первых, она испытывает и проверяет выводы других наук. Во-вторых, в понятиях, которыми пользуются другие науки, она открывает великие результаты, к которым те науки не способны придти. В-третьих, она исследует тайны природы собственными силами». Несмотря на такие заявления, Бэкон сам нередко уносился воображением за пределы опыта. В его положениях бывает иногда трудно отличить, основаны ли они на наблюдении других людей, или на его собственном, или же они составляют просто мечту его воображения. Описания его нередко неопределенны и темны, и хотя он в своей «*Epistola de secretis artis et naturae operibus atque nullitate magiae*» восстает против магии, но сам как истинный сын своего времени не чужд астрологии и деятельно занимается алхимией, как показывают заглавия его монографий «*De lapide philosophorum*, *Verbum abbreviatum de leone viridi*, *Secretum secretorum*» и т. д., и т. д. Даже в самовосхвалении Бэкон уподобляется ученым своего времени. Он не только сообщает, что в промежуток от трех до шести месяцев обучил любознательного ученика всему, чему сам учился около 40 лет, но и утверждает, что для изучения еврейского или греческого языка достаточно трех дней.

Сочинения Бэкона были изданы очень поздно. Из сочинений, интересующих нас специально, «*Opus majus*» был издан в 1733 г. Джеббом, «*Opus minus*» и «*Opus tertium*» в 1559 г. Бремером, «*Perspectiva*» и «*Specula mathematica*» в 1614 г. марбургским профессором Комбахом. «*Opus majus*» — основная работа Бэкона. Он посвятил его в 1267 г. папе Клименту IV, чтобы оправдать себя против возведенных на него обвинений. Вместе с изложением взглядов на истинно научный метод, в сочи-

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА 105

нении этом (в пятой части) помещены самостоятельные работы Бэкона, имеющие наибольшее значение для физики, а именно оптические. Впрочем, все наиболее существенное по этой части можно найти уже в его трактатах «О перспективе» и «О зеркалах». Бэкон в своей оптике опирается на Птолемея и Альгазена, сочинения которых были, вероятно, доступны ему в подлиннике, так как он, по-видимому, знал греческий и арабский языки.

В учении о зеркалах Бэкон отмечает, что стеклянные зеркала покрываются свинцом. Такое приготовление зеркал должно было войти в употребление около этого времени, так как В. Бовэ в 1250 г. упоминает о том же, а до того знали только массивные металлические и простые, ничем не покрытые стеклянные зеркала. Действие зажигательных зеркал Бэкон объясняет тем, что рисует дугу круга и солнечный луч, который, отражаясь от дуги, проходит через точку, лежащую на ее оси. Если затем всю фигуру поворачивать вокруг последней, то становится ясно, что все солнечные лучи, находящиеся от оси на одинаковом расстоянии с нарисованным в плоскости лучом, должны отражаться в ту же точку на оси и здесь при своем соединении давать значительное нагревание. Этот фокус находится, по Бэкону, от зеркала на расстоянии меньшем, чем половина радиуса последнего, но, разумеется, он изменяет свое место для лучей, находящихся на различных расстояниях от оси¹. Бэкон не входит в ближайшее рассмотрение того, что все же и у сферического зажигательного зеркала все фокусы должны лежать близко друг к другу и почти посередине между зеркалом и центром; он отмечает только, что всего действительнее будет то зажигательное зеркало, у которого все фокусы совпадают. Он дает и правила для приготовления подобного параболического зажигательного зеркала, причем остается неясным, пробовал ли он сам устроить подобные зеркала или заказывал другим, или же он оставил свой план без выполнения. Для параболического зажигательного зеркала он определил фокусное расстояние в $\frac{1}{4}$ диаметра. Последующие оптики приходят тоже к этому результату, оставаясь в неведении предела, установленного Бэконом для фокусов сферического зажигательного зеркала, и продолжая полагать, что фокус такого зеркала совпадает с его центром. Солнечные лучи, падающие на зеркало, Бэкон считает параллельными вследствие отдаленности солнца; при этом он отмечает, что действие их тем сильнее, чем отвеснее они падают на плоскость.

При исследовании преломления лучей Бэкон рассматривает преломление при прохождении через сферические поверхности и отмечает, что при рассмотрении через такие поверхности зрительный угол предметов, а, следовательно, и кажущиеся размеры их могут быть увеличены. Его рисунки представляют только простые дуги, обращенные к глазу выпуклой или вогнутой стороной, и нигде мы не встречаем у него чечевиц, ограниченных двумя сферическими поверхностями. В соответствии с этим Бэкон постоянно говорит только о единичном

¹ Здесь Бэкон является вполне самостоятельным исследователем; во всяком случае, он является первым ученым, отметившим расстояние фокусов сферических зеркал.

106 РАЙМУНД ЛУЛЛ. ВЛИЯНИЕ Р. БЭКОНА

преломлении, не касаясь случая преломления двумя сферическими поверхностями. В этом отношении он не идет дальше Альгазена, который тоже упоминает об увеличении кажущейся величины предметов при рассматривании через плосковыпуклые чечевицы. Бэкон советует людям со слабыми глазами накладывать шаровой отрезок стекла, меньше полушара, на предмет, который хотят хорошо рассмотреть. По-видимому, ему было неизвестно, что гораздо удобнее держать чечевицу прямо перед глазом. Тем не менее, он с таким восторгом говорит об увеличении отдаленных предметов, что ему неоднократно пытались приписать изобретение зрительной трубы. Правда, Бэкону нельзя отказать в некотором предчувствии возможности подобного прибора, но как раз те положения, которыми хотят поддержать его право на изобретение, прямо доказывают, что он никогда не устраивал и не пробовал устроить зрительной трубы. Убедившись в возможности увеличения зрительных углов, Бэкон замечает: «Таким образом, увеличивая зрительный угол, мы будем в состоянии читать мельчайшие буквы с огромных расстояний и считать песчинки на земле, так как видимая величина обуславливается не расстоянием, а зрительным углом. Мальчик может казаться великаном, а взрослый горой — *et sic etiam faceremus solem et lunam et stellas descendere secundum apparentiam hic inferius, et similiter super capita inimicorum apparere*».

Доказательством того, что Бэкон любит увлекаться смелыми планами, не делая при этом ни малейших попыток к осуществлению их, служит следующее место: «Вследствие отражения, предмет может быть виден несчетное число раз: так, Плиний рассказывает, что случалось видеть одновременно несколько солнц и лун. Это происходит, впрочем, только в тех случаях, когда пары нагромождаются в воздухе подобно зеркалам и располагаются в разнообразных направлениях. Но что может совершить природа, то еще легче осуществить искусству, совершенствующему природу. Зеркала могут быть устроены и поставлены так, чтобы отражать предмет любое число раз; и тогда вместо одного человека или одного войска нашим глазам явится несколько. Можно было бы устраивать приспособления в этом роде на пользу отечеству или на страх еретикам. А если бы кто сумел уплотнить воздух так, чтобы он отражал световые лучи, то получалось бы много необычайных явлений. Ведь полагают же, что демоны показывают людям лагеря, войска и разные другие чудеса. Мало того, можно было бы посредством зеркал обнаруживать сокровеннейшие действия в отдаленных местах, городах и войсках».

Бэкон не имел заметного влияния ни на современников, ни на науку ближайших столетий. О нем даже не упоминает ни один из ученых докторов XIII или XIV вв. Богословы относились к нему враждебно за нападки на их авторитет, философы за его презрительное отношение к их диспутам, а его печальная судьба не могла располагать других идти по тому же пути. Неудивительно, стало быть, что даже его предложение исправить юлианский календарь, недостатки которого сделались уже давно очевидными, не встретило ни внимания, ни доверия.

Величайший из алхимиков *РАЙМОНД ЛУЛЛ* (1234—1315), который, по убеждению своих современников, несомненно, нашел философский

ОПТИКА ВИТЕЛЛО. ИЗОБРЕТЕНИЕ ОЧКОВ 107

камень, стремился к коренному преобразованию науки и к ниспровержению схоластики. Он отвергал авторитет Аристотеля даже в области логики и диалектики и составил особую схему понятий, с помощью которой можно было произвести всевозможные сочетания и таким путем прийти ко всякому познанию («Ars magna Lulli»). Значительное число его последователей, луллистов, показывает, что уже в XIII веке схоластика не удовлетворяла многих.

Одновременно с Бэконом занимался собиранием древних сочинений по оптике *ВИТЕЛЛО* (около 1269 г.), неизвестный в других отношениях монах, который был приведен к изучению световых явлений зрелищем радужных цветов водопада. Повторяя измерение углов преломления, он нашел, что в *одних и тех же средах углы не изменяются*, все равно, проходит ли свет из среды более плотной в менее плотную или наоборот. В теории радуги Вителло пошел дальше Аристотеля, заметив, что радуга не может образоваться от простого отражения солнечного света, так как вследствие прозрачности дождевых капель, проходящие сквозь них лучи должны также и преломляться. Книга Вителло издана Ризнером в 1572 г. одновременно с оптикой Альгазена.

XIII столетие принадлежит оптике. Хотя средние века охотно увлекались механическими фокусами Альберта Великого или Роджера Бэкона, механика не ушла ни на шаг от Аристотеля. Оптика же конца того же столетия может похвалиться одним важным открытием, именно *изобретением очков*. Математически разработанная оптика пострадала, вообще, менее других отделов физики в неблагоприятные для науки века, потому что сама математика никогда не была полностью увлечена регрессивным потоком — подобно прочим наукам. Александрийские ученые установили оптику на столь прочных математических основаниях, что вести ее вперед было сравнительно легко. Арабы, а за ними и христианские ученые продолжали поэтому заниматься ею усердно и успешно. При таких условиях естественно, что первое самостоятельное открытие было сделано христианами учеными именно в области оптики. Соображения Альгазена об увеличении предметов посредством чечевиц, опыты Бэкона над изменением зрительных углов с помощью вогнутых и выпуклых сферических стекол должны были вскоре навести на мысль о возможности исправлять такими стеклами неправильности глазного хрусталика. Бэкон, как мы уже знаем, советовал лицам со слабым зрением класть выпуклые стекла на предметы, которые они хотели видеть ясно. Но кто именно первый, следуя этому указанию, придумал прикладывать стекла к глазу, и притом одновременно вооружить стеклами оба "глаза; кто первый устроил очки не только с выпуклыми стеклами для дальновзорких, но и с вогнутыми для близоруких — остается неизвестным. Хроника, хранящаяся в библиотеке монахов-проповедников в Пизе, повествует, что очки начал впервые делать некто, не желавший открыть своей тайны, но что монах Александр де-Спина, услышав об этом изобретении, стал готовить очки сам и охотно обучал желающих этому искусству. Этот таинственный некто, может быть, и есть действительно Сальвино Армати, которого обыкновенно считают изобретателем очков на основании надписи на могильном камне во Флоренции, где он назван *inventore degli*

108 ЗАСТОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК В XIV СТОЛЕТИИ

oschiali. По свидетельству этого камня, Сальвино умер в 1317 г. *Согласно же словарю академии Делла Круска изобретение очков было произведено в 1285 году.*

Ни одно столетие в научном отношении не представляло столь жалкого и прискорбного зрелища, как *четырнадцатый век*. В XIII в. можно было надеяться на близкое пробуждение умов. Науки древних были перенесены на запад, университеты возникали один за другим, были сделаны крупные научные открытия, и метод опытного исследования был противопоставлен схоластическим истолковательным приемам. Несмотря, однако, на все это, в ближайшем произошло не движение вперед, а наступил полный паралич умственной деятельности. Безотрадную пустыню этого столетия не оживляет ни одно открытие, ни одна светлая личность, выдающаяся своей ученостью. Физика, астрономия, математика, химия, мало того, самая алхимия погружены в летаргический сон. Лишь схоластики невозбранно пожинают лавры на своих диспутах о возможных и невозможных вещах; и они же под защитой и покровительством церкви объясняют строение вселенной. Церковь и схоластика были одинаково заинтересованы в установлении прочной нормы для естествознания, потому что независимая наука представляла для той и другой большую опасность. Схоластики стали вследствие этого неумоимо указывать своей могущественной союзнице на лиц, уклонявшихся от схоластических норм; церковь же в свою очередь, обнаруживала ревностную готовность искоренять всякий признак новаторства в естествознании. В 1232 г. инквизиция, входившая прежде в состав епископских обязанностей, перешла по распоряжению папы Григория IX к доминиканским монахам, а в 1252 г. было разрешено инквизиции вынуждать признание пыткой. Эти многотрудные заботы доминиканских монахов о душах не остались без последствий; они содействовали искоренению превратных философских учений и уничтожению не только новшеств, неблагоприятных церкви, но и всякого научного движения вообще. Впрочем, даже XIV век не прошел без борьбы и сопротивления со стороны угнетаемой науки. Примером может служить история Николая де-Австрикура, вынужденного в 1348 г. отречься от своего учения, в котором он, между прочим, утверждал, что в природе нет ничего кроме соединения и разъединения атомов и что для истинного познания природы необходимо оставить Аристотеля и Аверроэса и обратиться к непосредственному наблюдению.

Отголоском лучшего XIII века представляет сочинение по оптике монаха *ТЕОДОРИКА* (около 1311 г.). Он подробно и верно описывает ход светового луча через дождевую каплю для главной радуги и для радуги второго порядка. Каждый солнечный луч главной радуги преломляетсяверху капли, отражается от задней ее стенки и вторично преломляетсявнизу капли; радуга же второго порядка происходит в результате двоякого преломления и двоякого отражения лучей; однако вследствие незнания законов преломления Теодорик не может объяснить, почему только те лучи, которые падают на места, указанные чертежом, дают в нашем глазу изображение радуги. Он призывает на помощь схоластическое предположение, что эти места особенно

предназначены природой для преломления и отражения. Сочинение Теодорика ¹ долгое время было скрыто в библиотеке монахов-проповедников в Базеле и потому осталось без всякого влияния на науку. Оно увидало свет только в 1814 г., благодаря стараниям итальянца Вентури.

Известный немецкий часовой мастер *ГЕЙНРИХ-ФОН-ВИК* устроил в 1364 г. на здании парижского парламента первые колесные часы с боем. С этого времени большинство германских городов начало обзаводиться башенными часами. Тем не менее, часы с гирями или колесные, следует считать итальянским изобретением XIII века. Утверждают даже, что они заимствованы от арабов, что уже Герберт умел их делать и что в 1232 г. Саладин подарил императору Фридриху II колесные часы, стоившие пять тысяч дукатов. В пользу введения колесных часов из Италии говорит то обстоятельство, что в Германии долгое время оставалось в употреблении итальянское подразделение часов от 1 до 24. В Бреславле такие часы были уничтожены только в 1580 г. распоряжением магистрата и заменены «половинными», которые отбивали от 1 до 12 часов и затем снова от 1 до 12 часов. Маятника у всех этих часов еще не было, и они известным образом регулировались особым прибором, устроенным в виде креста, вращающегося около вертикальной оси и приводимого в движение вперед и назад часовым механизмом. Такая регулировка не могла быть очень точной, как видно из того, что до введения часов с маятником ученые употребляли при своих работах водяные и песочные часы и нередко жаловались на отсутствие более точных приборов для измерения времени.

Первая половина XV *века* еще вполне походит на XIV. Зато во второй половине его замечается большое оживление в областях, не имеющих ничего общего со схоластикой и богословием. Схоластика далеко не успела познакомиться со всеми классическими учеными и, остановившись приблизительно на Аристотеле, даже его не знала в оригинальной форме. Схоластикам недоставало знания греческого языка. Их знакомство с греческой наукой произошло через посредство латинских переводов, которые, в свою очередь, не были сделаны с подлинников. Сочинения Аверроэса, служившие схоластикам основанием для изучения Аристотеля, были, по замечанию Льюиса, латинским переводом с еврейского перевода одного арабского комментария к арабскому же переводу с сирийского; только последний перевод был уже сделан прямо с греческого подлинника. Петрарка (1304—1374) жалуется, что в Италии не насчитывается более 10 человек, способных ценить Гомера, а Боккачио (1313—1375) с большим трудом находит кафедру греческого языка во Флоренции для Леонтия Пилата; да и то не надолго, так как греческий ученый «в философском плаще и с включенной бородой» вскоре покидает Италию, исполненный глубокого отвращения. Зато после взятия Константинополя ученые, бежавшие оттуда, очень скоро распространили знание греческого языка, а расцветающий гуманизм не только подготовил падение схоластики, на которую он взирал

¹ Оно озаглавлено: «De radialibus impressionibus»; автор называет себя в нем *frater Theodoricus, ordinis fratrum praedicatorum provinciae Teutonicae, theologiae facultatis qualitercumque professor*.

110 НИКОЛАЙ КУЗАНСКИЙ

с презрением, но и косвенным образом повлиял на развитие естественных наук, открыв мысли большую свободу вообще и расширив круг знакомства с греческом наукой о природе.

Ранее других естественных наук опять начала самостоятельно развиваться астрономия. Во второй половине XV века, как в древности, внимание наблюдателей обратилось, прежде всего, к звездному небу, и, в то время как средневековый ученый еще долго продолжал искать в книге объяснения земных явлений, астроном строил обсерватории, посвященные непосредственному наблюдению. XV век, по-видимому, не сознает еще различия между книжной ученостью и живой наукой, но XVI век с его великими астрономами доказывает ясно, что это различие должно привести к гибели схоластики. Для нас, немцев, вторая половина XV столетия имеет значение не только потому, что тут в первый раз встречаются имена немецких ученых в области астрономии, но и потому, что астрономы эти, по искусству, усидчивости и успешности работ заслуживают величайшего уважения. С этого времени и до начала XVII века главная роль в астрономии принадлежит Германии.

НИКОЛАЙ КРЕБС, так называемый де-Куза или *КУЗАН* (1401— 1464), был сыном рыбака в г. Куэзе на Мозеле. В качестве люттихского архидиакона он заявил себя энергическим противником папы на Базельском соборе, но впоследствии сделался кардиналом и епископом бриксенским. Он возродил пифагорово учение о движении земли; в сочинении «*De docta ignorantia*» он старается доказать, что всякое бытие заключается в движении и что земля уже потому не может находиться в центре вселенной, что бесконечная вселенная не может иметь центра. Его теории земного движения довольно таки темны, но из них все-таки явствует, что Кребс думал о движении земли вокруг ее оси как о некотором движении нашей планеты вместе со всей солнечной системой «вокруг вечно вращающихся мировых полюсов».

Приведем несколько извлечений из второго сочинения Кузана: «Беседы о статических опытах», для характеристики механических понятий того времени¹. Механик ведет беседу с философом. Первый излагает свои положения, второй делает к ним большею частью неподходящие замечания. Весы служат для определения природы тел. Жидкости имеют неодинаковый вес; так, у здоровых и больных, молодых и стариков кровь бывает неодинаково тяжела, что важно знать врачу. Для сравнения ударов пульса у разных лиц и в различных состояниях следует выпускать воду из узкого отверстия водяных часов, считая пульс до 100, и затем взвесить вытекшие порции воды. Если насильственно погрузить в воду два куска дерева, из которых одно вдвое тяжелее другого, то большее выплывает скорее на поверхность; это происходит оттого, что в последнем больше легкости, чем в первом. Притягательную силу магнита «южно определить весами, равно как и силу алмаза, который, как уверяют, уничтожает притяжение первого. Если насыпать в горшок 100 фунтов земли и посеять в нем семян, то при росте растения земля мало потеряет в весе, так как растения пита-

¹ По Кестнеру, «История математики».

ИЗОБРЕТЕНИЕ КНИГОПЕЧАТАНИЯ 111

ются по преимуществу водой. Если с высокой башни бросать вниз камни и куски дерева и в то же время выпускать из сосуда воду, то этим способом можно определить вес воздуха, задерживающего падение брошенных тел. Наполняя мехи сначала воздухом, а затем дымом, можно легко убедиться, который из двух тяжелее. Если положить на одну из чашек весов некоторое количество сухой и сжатой шерсти, а другую уравновесить гирями, то по опусканию и поднятию чашек можно судить о сухости и влажности воздуха; этим путем можно даже судить о предстоящей погоде. Стихии могут до известной степени превращаться одна в другую, например вода может превращаться в воздух или камень и т. д.

С пробуждением научного стремления вновь выступают на сцену оба древних направления физики — философское и математическое. Философская механика остается вполне аристотелевской; математическая же обнаруживает склонность к движению вперед, сохраняя, однако, почти без всяких изменений метод и даже цели Архимеда. *Механику Кузана нельзя назвать ни философской, ни математической;* в ней попадаются черты той и другой, но изобилует она преимущественно фантастическими проектами, — явление весьма частое в те времена, предшествовавшие возникновению экспериментальной физики. Средневековый механик высказывает свои мысли, не имея намерения осуществлять их, не заботясь даже о том, осуществимы ли они вообще или нет. Тем не менее, подобные проекты, являясь поощрением к опытам, при всей своей фантастичности, а подчас и нелепости, приносят свою долю пользы. Они мало-помалу побуждают ученых заняться лично выполнением своих планов вместо того, чтобы отдавать их в руки практиков, и, в конце концов, приводят к признанию за опытным исследованием научной ценности наравне с философским и математическим методом. *Проектирующая физика дает начало экспериментальной.*

Изобретение книгопечатания (1440) наиболее плодотворное для успеха наук событие XV века. Только благодаря ему сделалось возможным то общее распространение знаний, которым мы пользуемся теперь, и только оно способно было обеспечить науку от попятных скачков, испытанных классической культурой. Споры о личности изобретателя книгопечатания, а также о времени этого изобретения поддерживаются тем, что в самом изобретении можно различить три периода: во-первых, печатание цельными деревянными досками с вырезанными буквами; во-вторых, печатание отдельными буквами, вырезанными из дерева, свинца или олова, и, в-третьих, печатание литыми буквами. Печатание досками было известно в Китае 2000 лет назад; в 1440 г. житель Гарлема Костер напечатал таким образом «Зеркало человеческого спасения». Первые отпечатки Гутенберга (1401—1468) принадлежат к тому же периоду. Его первая большая книга, напечатанная отдельными вырезанными буквами, известная Майнцская библия, на которой год не обозначен, должна быть отнесена к 1455—1465 гг. Зять Фуста, Петр Шеффер, первый напечатал литыми буквами псалтирь в 1459 г. По самому существу дела, великие благодеяния книгопечатания должны были давать знать о себе медленно и постепенно; тем

112 НЕМЕЦКИЕ АСТРОНОМЫ

не менее из перечня, помещенного у Дрэпера¹, видно, что за время от 1470 до 1500 г. было напечатано более 10 000 изданий книг и памфлетов; именно, в Венеции 2885, в Милане 625, в Болонье 298, в Риме 925, в Париже 751, в Кельне 530, в Нюрнберге 382, в Лейпциге 351, в Страсбурге 526, в Аугсбурге 256, в Майнце 134, в Лондоне 130, и т. д.

Родоначальником знаменитых немецких астрономов был *ГЕОРГ ПЕУРБАХ* (Peurbach) (1432—1461), уроженец маленького верхнеавстрийского городка. Он слушал в венском университете (основанном в 1365 г.), под руководством способного астронома Иоганна Гмунденского, астрономию и математику и после долгих путешествий, предпринятых с образовательной целью, сделался преемником своего учителя. Пеурбах был превосходным наблюдателем; он занимался преимущественно проверкой данных древних астрономов и исправил во многих отношениях прежние переводы «Альмагеста», сделанные не астрономами. Вследствие незнания арабского и греческого языка эти исправления, однако, не могли быть так полны, как того желал трудившийся над ними ученый. Поэтому, когда кардинал Бессарион, который раньше поручил перевести «Альмагест» на латинский язык некоему Георгию Трапезундскому, оставшись недовольным этим переводом, предложил Пеурбаху ехать в Италию для изучения греческого языка; предложение это было им принято с радостью. Осуществлению этого плана помешала смерть, сразившая Пеурбаха, уже готового к отъезду.

Наиболее выдающимся учеником его был Иоганн Мюллер, называемый обыкновенно *РЕГИОМОНТАНОМ* (1436—1476) по городу, где он родился (Кенигсбергу во Франконии). Мюллер поступил к Пеурбаху на пятнадцатом году своей жизни, с намерением посвятить себя астрономии, и после смерти учителя занялся осуществлением задачи, которую тому не довелось выполнить. Он отправился с кардиналом Бессарионом в Италию, изучил греческий язык и перевел на латинский язык не только «Альмагест», но и много физических сочинений. Важнейшее из этих сочинений «Pneumatica» Герона, трактаты о музыке и оптике Птолемея и механические проблемы Аристотеля. Перевод сочинения Архимеда (принадлежащий Герхарту Кремонскому) был тоже исправлен им. В 1471 г. Региомонтан поселился в Нюрнберге, где в богатом аристократе Вальтере он нашел не только щедрого покровителя наук, но и способного и прилежного ученика. Устроенная ими обоими обсерватория была первой в христианской Европе. Наблюдения, произведенные здесь, приобрели Региомонтану такую славу, что папа Сикст IV призвал его в Рим для предположенного им исправления календаря и даже сделал его регенсбургским епископом. В Риме ему не пришлось долго пожить. Он умер (1476 г.), по мнению одних, от чумы, по мнению других, он был отравлен сыновьями упомянутого выше Георгия Трапезундского, перевода которых не одобрил. Работа по улучшению календаря осталась не выполненной еще в течение 100 с лишним лет.

Даровитый ученик Региомонтана, Бернгард Вальтер (1430—1504), продолжал производить наблюдения на Нюрнбергской обсерватории до конца жизни. Его сочинения, как и сочинения Региомонтана, были

¹ «История умственного развития в Европе».

ОТКРЫТИЕ АМЕРИКИ 113

заброшены невежественным душеприказчиком, а драгоценные астрономические инструменты, вновь изобретенные или значительно усовершенствованные, были проданы в лом, как старая медь.

Пеурбах, Региомонтан и Вальтер — последние выдающиеся астрономы, умершие с твердою верою в Птолемея, и последние блестящие представители птолемеевой системы. Благодаря им, она сделалась известной Западу в первоначальном, неискаженном виде; но, с другой стороны, они же своими точными и многочисленными наблюдениями подготовили ее падение. Легко вообразить, что люди, не жалевшие труда на достижение источника, не желали мутить его и были склонны скорее исправлять, чем опровергать своего учителя. Зато другие вывели из их работ заключения, к которым они сами не решались придти. Коперник был современником и даже прямым учеником Пеурбаха, но имел перед ним и Региомонтаном преимущество долгой жизни, в течение которой его смелые мысли успели окончательно созреть.

Прежде, однако, чем великая астрономическая революция успела сдвинуть с места земной шар, старое учение испытало неожиданное потрясение от важного переворота на самой земле. Большинство в это время все еще продолжало представлять себе землю в виде плоского диска, на краях которого вода, воздух и облака смешивались в непроницаемую кашу. Из пяти земных поясов населенным считался только умеренный; под тропиками всякую жизнь должен был прекращать жар, у полюсов — холод. Несбыточность учения об антиподах была доказана отцом церкви, и тот, кто вместе с Аристотелем верил в шаровидность земли, остерегался высказывать свои убеждения слишком громогласно¹. Когда Колумб после 18 лет напрасных исканий и вымаливаний поддержки для своего великого предприятия, явился, наконец, к испанскому двору, его отправили в саламанкский совет, а этот не замедлил основательно ниспровергнуть все его доводы цитатами из библии и святых отцов. Уверяют, будто совет даже предостерегал его не плыть слишком далеко на запад, так как в случае правильности его предположений шаровидность земли может воздвигнуть перед ним на обратном пути такую гору, на которую ему, пожалуй, не удастся взобраться. То обстоятельство, что Колумб, невзирая на все препятствия, добился внимания испанской королевы Изабеллы и действительно открыл новую часть света, прорвало в одном месте кольцо, которым схоластика и церковь окружили науку, а после этого нарушения целостности все кольцо вскоре начало распадаться. Если смелый мореплаватель мог одерживать на неведомых морях славные, никому не снившиеся победы, почему же естествознание осуждено было вечно грести в мелких водах схоластического аристотелизма? Положим, большинству было еще привольно в тесном пруде, и оно охотно продолжало в течение XVI века и части XVII препираться о «*Quaestiones mechanicae*», но уже многие более одаренные все яснее и яснее сознавали позор оков для науки и, ожесточенные гнетом, рвались в бой.

¹ Виргилий, епископ Зальцбургский, два раза вступал в пререкание с Бонифацием. Первый раз спор имел богословский характер, и папа высказался против Бонифация. Когда же Бонифаций заявил, что Виргилий верит в существование антиподов, папа потребовал его в Рим к суду.

114 СКЛОНЕНИЕ МАГНИТНОЙ СТРЕЛКИ

Путешествие Колумба (1492 г.) имело один важный результат для физики, именно для учения о магнетизме. Компас вошел уже в общее употребление у моряков, но в это время, столь чуждое всяким научным интересам, никто не позаботился ни об исследовании таинственной силы, направляющей магнитную стрелку, ни даже о точном изучении ее направления. Возможно, что при недостатке кругового деления под магнитной стрелкой вовсе не замечали ее отклонения от северного направления или объясняли его несовершенством устройства магнитной стрелки, как это не раз делали впоследствии. Так или иначе, до Колумба было известно только восточное склонение, наблюдавшееся в прибрежьях Средиземного моря. И вдруг Колумб к великому своему удивлению заметил вечером 13 сентября (в то время как он производил астрономическое определение на расстоянии 200 морских миль к западу от о. Ферро), что магнитная стрелка отклонилась на запад, притом на целых 5° , и что это отклонение постоянно увеличивалось по мере удаления на запад. Этим открытием было не только установлено склонение магнитной стрелки вообще, но и различие его для различных мест земного шара. С этих пор число наблюдений над направлением стрелки постепенно увеличивается, а вместе с тем начинаются и опыты для объяснения этих загадочных явлений.

3. Переходный период средневековой физики (От 1500 до 1600 г. н. э.)

Свойства переходной эпохи проявляются в XVI веке *таким множеством противоположностей*, что общая характеристика ее весьма затруднительна. Со всех сторон пробиваются к свету новые теории, везде ставятся новые цели, везде старое упорно восстает против нового, подкапывающегося под его существование; а так как старое и новое не в состоянии совершенно уничтожить друг друга, то они продолжают существовать рядом. *Мы находим всюду начатки и борьбу противоположных мнений. Покоя нет на протяжении всего этого столетия, и лишь следующий, XVII век приносит решение, и выяснение большей части вопросов.*

Гуманизм, который стремится к подлинным памятникам древней культуры, оставляя в стороне схоластически обработанного Аристотеля, распространяется из Италии на север и в лице своих представителей, например Эразма (1466—1536), ведет борьбу со схоластикой, как в серьезном, так и в насмешливом тоне. Людовик Вивес (1537) прямо противопоставляет схоластике опытную науку, утверждая, что поступить в истинном духе Аристотеля это значит идти дальше него и обращаться непосредственно к природе, по примеру древних. Природа познается не слепым преданием и не хитроумными гипотезами, а наблюдением и опытом. Однако наперекор всему схоластика продолжает держаться, и некоторые университеты служат ей особенно надежными оплотами. В последних годах XVI столетия падуанский профессор Кремонини получает за лекции об естественнонаучных сочинениях Аристотеля 2000 гульденов в год, тогда как Галилей, уже изгнанный аристотелианцами из Пизы, читает лекции математики в том же университете за самое скудное вознаграждение.

Коперник посвящает труд целой жизни тому, чтобы снять землю с подпорок, но она продолжает сидеть крепко, по крайней мере, в умах его современников. И только в следующем столетии, когда Тихо наносит своей системой решительный удар птолемеевскому учению, когда Галилей раскрывает глубины небосвода телескопом, когда Кеплер с достоверностью опыта предписывает планетам законы движения, когда, наконец, прославленный философ Декарт заставляет светила носиться в мощных вихрях, — не ранее всего этого постепенно прекращает отчаянную борьбу против нового учения консервативнейшая защитница старого — католическая церковь, но, конечно, как всегда, молча, не заключая яв-

ного мира. *Разносторонний гений Леонардо да-Винчи выводит, наконец, и механику из ее продолжительного летаргического сна; но его работы остаются в неизвестности и без влияния. Замечательные математики Кардан, Убальди, Бенедетти работают в области механики*, но, не располагая данными физического опыта, они не могут встать на настоящую почву. Поэтому учение о свободном «падении тел, а вместе с тем и учение о движении и его причине — силе — продолжают оставаться темными. Статика делает еще некоторые успехи, исходя из архимедовых данных, но динамика остается всецело в руках аристотелианцев. Распространение компаса ведет к новым наблюдениям над магнитной силой, однако только в начале следующего столетия Джильберт дает теорию земного магнетизма, а с нею вместе кладет основание для дальнейшего развития учения о магнетизме. Одновременно вновь привлекает к себе внимание учение об электричестве.

Оптика, как всегда, находит деятельных работников и по-прежнему делает успехи; но исследования в этой области сохраняют прежний чисто математический характер. Ход прямолинейных световых лучей при зеркальном отражении и преломлении продолжает быть предметом изучения; но о настоящих физических исследованиях природы света нет еще и помину. Учение об ощущении цветов остается на прежней точке. Больше оживление замечается в практической области. Изобретаются оптические инструменты, основанные на действии чечевиц, например камера-обскура; изобретение же других, как, например, зрительной трубы, носится уже в воздухе. Все чаще и чаще приходится слышать об увеличении посредством выпуклых стекол; смелые оптики придумывают уже сочетание чечевиц, приближающее к глазу отдаленные предметы или сильно увеличивающие близкие. Плоды этих трудов будет пожинать только наступающее столетие, несмотря на то, что изобретение микроскопа следует отнести к концу XVI в.

Акустика и учение о теплоте остаются почти незатронутыми новыми веяниями. В отношении к учению о теплоте это, впрочем, неудивительно, так как и в древности, этот отдел физики был в загоне, а, следовательно, не существовало исходных точек для исследования в этой области. Теплота считалась стихией, к которой было трудно подступиться, особенно за неимением прибора для измерения теплоты. Последний был сконструирован лишь в XVII в. после многих неудачных попыток. Застой в акустике более удивителен, так как древность дала много указаний для ее разработки, и музыка достигла уже блестящих результатов на практике: Гвидо из Арrezzo (умер в 1050 г.) изобрел систему линий для обозначения высот тонов и самые тоны обозначил наименованиями *ut, re, mi, fa, sol, la*, к которым было впоследствии присоединено *si*. Жан де-Мер (1310 — 1360) стал употреблять в нотах головки для обозначения их продолжительности. Франк Кельнский (XIII столетие) разработал контрапункт, а голландцы довели до значительного совершенства строгую многоголосую

ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ 117

композицию. В XVI в. итальянцы превзошли голландцев, и церковная итальянская музыка в лице Палестрины достигла высшего развития. Нужно, впрочем, заметить, что богатство и сложность явлений составляли здесь своего рода препятствие для их физической разработки. Без аналитического опыта, без умения распутывать сложность явлений систематическим наблюдением нельзя было ни установить индуктивно законов, ни дойти до ясных оснований для математической дедукции. Только Галилей, основатель новейшей физики, принялся в XVII в. снова и за акустические исследования.

XVII век особенно ясно указывает зависимость новой физики от древней. Пока остается известен один Аристотель, до тех пор и физика остается чисто философской дисциплиной. По мере же распространения греческого языка и знакомства со всей греческой наукой начинает преобладать математическое направление. Притом физика христианской Европы обнаруживает связь с прошлым непосредственнее других ветвей естествознания. Философия, математика, медицина и т. д. подвергались предварительной разработке в руках арабов. Физика же оживает только после знакомства средневековой Европы с греческими подлинниками и долго продолжает развиваться именно там, где это знакомство может быть всего легче осуществлено, т. е. в Италии. На север от Альп свобода мысли и слова завоевывает себе в это время посредством реформации право на существование, по крайней мере, в религиозных вопросах. Католическая церковь в Италии, разумеется, тем энергичнее отстаивает право опеки над знанием. Но в отношении физики ее усилия не приносят ожидаемых плодов. Если на севере религиозная борьба отвлекает силы, которые могли бы служить науке, то в Италии, наперекор гнету, физика поднимается на небывалую высоту. *XVI век оказывается подготовительным периодом для ее полного расцвета в XVII в.; как этот подготовительный, так и последующий начальный период блестящего расцвета составляют исключительное и неотъемлемое достояние итальянцев.*

Подобно Роджеру Бекону в XIII в., знаменитый художник **ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ** (1452—1519) в конце XV и начале XVI веков далеко опередил своих современников,— настолько далеко, что последние даже не в состоянии были пользоваться его трудами. Леонардо родился в 1452 г. в Винчи, близ Флоренции, и уже в 1480 г. писал в Милане для доминиканской церкви св. Марии свою знаменитую «Тайную вечерю». В 1502 г. он отправился путешествовать по Италии для обозрения крепостей по поручению Валентина Борджии; в 1507 г. он был занят сооружением картезианского канала близ Милана; в 1509 г. он руководил постройкой канала св. Христофора. В 1511 г. Леонардо да Винчи проявил большую деятельность при вступлении в Милан Людовика XII, а в 1515 г. при вступлении туда Франциска I. В следующем году он в качестве придворного живописца отправился с королем во Францию и умер здесь в 1519 г. Его научные познания отличаются такой же разносторонностью, как и его практическая деятельность, и

118 ПРОГРЕСС МЕХАНИКИ. ПЕРЕВОДЫ

касаются не только теории искусств, но и математики, астрономии и описательных естественных наук. При всем том Леонардо не был обыкновенным полигистором (всезнайкой), относящимся пассивно к воспринятому; напротив, он обнаружил, особенно к физике, такой мощный и обширный ум, что опередил свое время более чем на целое столетие.

Леонардо основательно изучил древних и вынес убеждение, что одно философское направление неспособно двинуть физику вперед, тогда как приложение математики ведет к плодотворным результатам. «Механика — истинный рай математических наук», говорит он: «потому что при ее посредстве можно вкусить от плодов математического познания». Но вместе с тем для его светлого ума вполне ясно, что, прежде чем приложение математики сделается вообще возможным, наблюдение должно накопить достаточный запас фактических данных, и он особенно настаивает на необходимости наблюдения и систематического опыта для познания частных явлений, от которых последующими ступенями можно подняться к общим законам.

Следуя такому приему, Леонардо устанавливает, что тело падает по наклонной плоскости тем медленнее, чем длиннее ее больше высоты; а затем, правда, без доказательства, высказывает замечательное положение, что тело падает по дуге скорее, чем по соответствующей ей хорде. Его представление о свободном падении тел тоже гораздо рациональнее общепринятых в то время, так как относительно нарастания скорости падения он находит, что ускорение это происходит в арифметической прогрессии. Задачу косоугольного рычага Леонардо разрешает, заменив его теоретическим рычагом, плечи которого перпендикулярны к направлениям силы. Далее, мы находим у него знание явлений волосности, камеры-обскуры в ее простейшей форме, а также того факта, что глаз представляет подобную камеру; знание веса воздуха, стоячих водяных волн, трения и т. д. Если, несмотря на такие заслуги, мы не решаемся признать в Леонардо основателя новейшей физики или, по крайней мере, новейшей механики, то это, с одной стороны, происходит вследствие разбросанности его деятельности, исключавшей полное систематическое развитие, с другой, — вследствие неспособности его современников воспринимать эти новые мысли и способствовать их дальнейшей разработке. Физические работы Леонардо сохранились в виде разрозненных листков, собранных по преимуществу в парижской библиотеке. Вентури, открывший оптику Теодорика, первый сообщил и об этих работах Леонардо да Винчи¹.

Переводами с греческого отличается в это время *КОММАНДИНО* (1509—1575), врач и математик герцога урбинского. Он переводит сочинения Архимеда, Птолемея, Аполлония, Паппа, Герона, Евклида и Аристарха. Увлеченный Архимедом, он пишет и самостоятельный трактат о центре тяжести тел. XVI век можно вообще назвать веком переводов. В числе работавших на этом поприще выдаются Мавролик, Тарталья, Дюгамель, Ксиландр, Венаторий и др.

¹ *Venturi, Essai sur les ouvrages phisico-mathematiques de Leonard de Vinci, Paris. 1797.*

ТЕОРИЯ ПЛАНЕТ. ЖИЗНЬ КОПЕРНИКА 119

Французский врач *Ж. ФЕРНЕЛЬ* (1528) в своей «Cosmotheoria» описывает градусное измерение, произведенное им в 1525 г. Определив высоту полюса в Париже, он направился к северу и продолжал свой путь, пока высота не уменьшилась на 1° . С этого места он возможно прямым путем вернулся обратно в экипаже, к колесам которого был приделан измерительный прибор. Несмотря на произвольную поправку на кривизну пути, Фернель случайно пришел к довольно верному результату, именно он нашел градус равным 57 070 туаз, что дает для окружности земли 5396 миль. Измерение это представляет интерес только потому, что здесь в первый раз была употреблена точно известная нам единица меры.

ИЕРОНИМ ФРАКАСТОРИЙ (1538), врач, философ и поэт, живший в Вероне, высказывается против эпициклической теории планетных движений в своем сочинении «*Homocentricorum seu de stellis liber unus*». Изложение его было темно и никого не убедило; тем не менее, книга эта служит интересным доказательством возрастающего недовольства птолемеевой системой.

Немного лет спустя вышла в свет работа Коперника: *Micolai Copernici, de revolutionibus orbium Coelestium, libri sex*.

НИКОЛАЙ КОПЕРНИК родился 19 февраля (старого стиля) 1473 г. в Торне. Отец его умер рано, и воспитание мальчика взял на себя его дядя со стороны матери, Лука фон-Вацельроде, епископ эрмиландский. С 1490 г. Коперник четыре года изучал медицину и математику в Кракове и затем после краткого пребывания на родине отправился через Вену, где слушал Пеурбаха и Региомонтана, в Болонью (1496) к известному астроному Д. М. Новарре, который поощрял его посвятить себя астрономии. В 1500 г. Коперник читал лекции математики в Риме. Тремя годами ранее стараниями дяди он получил место в капитуле Фрауэнбургского собора, что дало ему средства свободно продолжать ученые занятия. В 1501 г. мы видим его в Фрауэнбурге, но только для того, чтобы выхлопотать себе дальнейший отпуск, который и был продлен до 1505 г. С этого времени Коперник остается на родине. В капитуле он, по-видимому, пользовался большим уважением, потому что несколько раз являлся его представителем на прусских ландтагах, где преимущественно обращал внимание на монетный вопрос, находившийся в весьма жалком состоянии. Рассказ об его участии в устройстве водопровода в Фрауэнбурге, по-видимому, вымышлен.

За исключением лет, посвященных научному образованию, Коперник провел всю свою жизнь на родине в уединении и ученых занятиях. Он жил слишком уединенно и безвестно для тех, которые, подобно нам, желали бы бросить взгляд на ход развития его открытий. Бессмертное творение об обращении небесных тел было начато за 36 лет до его обнародования, следовательно, в 1507 г., но Коперник держал его в глубокой тайне до полного окончания и только в 1530 г. сообщил о нем ближайшим друзьям. Он, очевидно, предчувствовал, какую бурю вызовут его опровержения старой системы, потому что говорит: «Хотя я знаю, что мысли философа не зависят от мнения толпы, что его цель искать прежде всего, истину, на сколько бог открыл ее человеческому разуму, но тем не менее при мысли, что моя

120 СИСТЕМА МИРА КОПЕРНИКА

теория может многим показаться нелепой, я долго колебался, не лучше ли отложить обнародование моего труда и подобно Пифагору ограничиться одной устной передачей его сущности своим друзьям».

Друзьям удалось, по счастью, уговорить его обнародовать свое сочинение. Особенно деятельное участие принимал в этом виттенбергский профессор Ретик. Благодаря его старанию оно вышло в свет в 1543 г. в Нюрнберге, причем Ретик еще в 1540 г. предпослал ему трактат «*De libris revolutionum Copernici narratio prima*». Шонер, нюрнбергский профессор математики, взял на себя просмотр корректур, а Осиандер, известный лютеранский богослов, написал анонимное предисловие, которое в соответствии со своим заглавием: «О гипотезах предлагаемого труда», выставляет новую систему простой гипотезой, от которой никто не в праве требовать истинности или даже правдоподобия. В собственном предисловии Коперника, появившемся впервые в издании 1854 г., мы, однако, не находим ничего похожего на такое отношение к вопросу, как видно из следующих слов: «Если найдутся вздорные болтуны, которые, не имея понятия о математике и руководствуясь умышленно и хитро искаженными текстами писания, станут порицать меня и нападать на мой труд, то я намерен не обращать на них внимания и совершенно пренебречь их ни на чем не основанными доводами». Коперник умер 24 мая 1543 г. Ему принесли первые экземпляры его сочинения, когда он был уже тяжело болен. Таким образом ему не довелось ни видеть равнодушия, с которым образованный мир отнесся вначале к его труду, ни испытать гонений, которым церковь подвергла впоследствии его учение.

К ниспровержению прежней системы мира Коперника привели, по-видимому, как астрономические, так и физические соображения. Первые основывались на страшной сложности геоцентрической системы и на той простоте, с которой планетные движения могут быть объяснены гелиоцентрической теорией. Примером может служить луна, для которой, при обращении вокруг солнца совместно с землей, эпициклический путь получается самым естественным образом, тогда как при теории, заставляющей ее, подобно другим планетам, обращаться только вокруг земли, он не может быть удовлетворительно объяснен. Физические соображения заключались преимущественно в неимоверности той быстроты, с которой старая система заставляла отдаленнейшие планеты описывать свои круги в 24 часа. Вследствие этого Коперник заменил суточное вращение небесного свода вращением земли вокруг его оси; движение солнца по эклиптике — обращением земли вокруг солнца и вместе с тем заставил и все остальные планеты обращаться вокруг солнца, как центрального светила.

Первые два движения были уже известны пифагорейцам и Аристарху, и Коперник упоминает об их учении, но третье движение представляет совершенно самостоятельный вывод системы Коперника, и оно-то именно объясняет с замечательной простотой сложное движение луны и замысловатые пути верхних планет.

Коперник, с его ясным и смелым умом, вполне сознавал внутреннюю истинность своей системы, как видно из его слов: «Хотя все сказанное многим может показаться слишком сложным и даже непо-

НЕДОСТАТКИ СИСТЕМЫ КОПЕРНИКА 121

нятным и, действительно, идет прямо вразрез с взглядами огромного большинства, мы с божьей помощью постараемся при дальнейшем изложении сделать все это яснее солнца, по крайней мере, для тех, кто не совсем чужд математических познаний». Тем не менее, новая система заключала в себе еще значительные астрономические погрешности, да и с точки зрения тогдашней физики она открывала возможность для возражений, которые трудно было опровергнуть. Астрономические недочеты были устранены ранее других. Коперник понимал, что земная ось при движении вокруг солнца должна постоянно оставаться параллельной себе, для того чтобы смена времен года была вообще объяснима. Но, не зная еще механического закона инерции и находясь под влиянием аристотелевского учения об естественных и насильственных движениях, он предполагал, что земная ось, предоставленная самой себе при движении земли, должна сохранять постоянным наклонение к оси эклиптики и, следовательно, описывать вокруг последней коническую поверхность и потому приписал земле сверхвращения вокруг своей оси и вокруг солнца еще третье движение, поддерживающее параллельность земной оси при всех положениях. Преемники Коперника очень скоро заметили его ошибку и отбросили это третье движение. Труднее было устранить другую астрономическую погрешность. Именно, Коперник, приняв эксцентрические круги птолемеевой системы без изменения, учил, что планеты описывают вокруг солнца круговые пути. Тихо де-Браге, при точности своих наблюдений, легко заметил, что круговые пути не соответствуют истинному положению вещей, но был не в силах разрешить этого вопроса. Только Кеплер после долгих утомительных попыток нашел, что планетные орбиты имеют форму эллипсов, весьма близких к кругу.

При всем том причиной неуспеха системы Коперника были вначале не столько астрономические недочеты, сколько ее кажущаяся физическая несостоятельность. Последняя вытекала из аристотелевского учения о движении и была уже указана Птолемеем при опровержении пифагорова учения. Интересно проследить, как Коперник, находившийся согласно с условиями своего времени всецело под влиянием аристотелевской физики, защищает против такого рода возражений. Аристотель учил, что, за исключением равномерного кругового движения светил и отвесных движений вверх и вниз тяжелых и легких земных тел, все прочие движения насильственны и должны прекращаться сами собой; и, далее, что круговое движение, как совершеннейшее, присуще одним небесным телам. Коперник признает все это, но только отвергает различие между небесными телами и землей. Круговое движение, свойственное всем небесным телам, должно быть присуще и земле. Прямолинейное движение происходит только, когда тела насильственно выводятся из своего положения, и в этих случаях они постоянно стремятся к соединению с однородными: земные тяжелые тела — с землей, легкие пары — с воздухом. Нельзя не видеть смутного предчувствия законов тяготения, правда, в форме стремления однородных предметов к соединению, в следующих словах Коперника: «Мне кажется, что тяжесть есть не что иное, как естественное стремление, сообщенное божественным промыслом всем мировым телам,

122 НЕДОСТАТКИ СИСТЕМЫ КОПЕРНИКА

сливаться в единое и цельное, принимая форму шара. Это стремление к соединению присуще, может быть, и солнцу, луне и другим подвижным светилам и составляет вероятную причину их шаровидности». Коперник этим стремлением объясняет сплоченность земли и других светил, но о существовании подобного же стремления между различными мировыми телами он не упоминает и вообще не призывает на помощь никакой силы для объяснения движения планет вокруг солнца, а как истинный последователь Аристотеля просто называет эти движения естественными. Хотя его доводы не объясняют движения небесных тел, но они устраняют одну из основ птолемеевой системы. Только земные однородные тела стремятся к центру земли; последнему, следовательно, нет никакой причины покоиться в центре вселенной, куда, согласно с прежними воззрениями, стремятся все тела вообще. Напротив, все земные тела естественно следуют за землей в свойственном им наравне с нею круговом движении. Отсюда ни свободно падающие тела, ни облака не могут оставаться позади земли при ее движении, как утверждал Птолемей. Вопрос, почему земная ось, несмотря на ее движение вокруг солнца, остается неизменно обращенной к одной и той же точке неба, — вопрос, который будет много раз предлагаем и впоследствии, — Коперник старается разрешить указанием на ничтожность размеров земного пути сравнительно с громадным расстоянием неподвижных звезд. При таких условиях изменения в положении земной оси по отношению к звездному небу должны оставаться незаметными. Наконец, против доводов об очевидности движения небосвода вокруг земли он замечает, что при удалении корабля из гавани находящиеся на нем люди тоже не чувствуют собственного движения и могут подумать, что берег и города удаляются от корабля, стоящего на месте.

Недостатки, присущие отчасти самой системе Коперника, отчасти же его системе доказательств, послужили для некоторых поводом к сомнению в умственном величии Коперника, но, конечно, совершенно напрасно. Именно то обстоятельство, что Коперник, наперекор этим недочетам, в которых следует обвинять не его самого, а его время, был так непоколебимо убежден во внутренней истинности своей системы и с такою уверенностью определил движение земли, служит вернейшим доказательством его умственного величия, его гения. Он не получил в наследство от прошлых поколений идеи, созревшей до такой степени, чтобы ему пришлось только подыскать выражение для этого общего предчувствия. Известные до него теории движения земли были непонятными, ни на чем не основанными, никем не признанными гипотезами. Коперник одним взором гения сумел провидеть новую истину сквозь все затемнявшие ее преграды. Но по той же причине нельзя удивляться, что новая система вначале не обратила на себя должного внимания и что прошло сто лет, прежде чем человечество успело привыкнуть к мысли о движении земли. До работ Тихо де-Браге Коперник находил приверженцев в одной Германии, да и то в весьма ограниченном числе. Кроме упомянутого выше Ретика, следует еще назвать Эразма Рейнгольда (1511—1553), который уже в 1551 г. написал свои звездные таблицы (*Tabulae prutenicae*) в двоя-

ком вычисления: по системам Птолемея и Коперника, а в предисловии категорически заявил: «Мы обязаны Копернику глубокой благодарностью за его многотрудные наблюдения и, в особенности за восстановление истинного учения о движении небесных тел». Х. Ротман, производивший наблюдения в 1577 г. на обсерватории, основанной ландграфом гессенским Вильгельмом IV (1561 г.), был тоже открытым последователем Коперника.

Знаменитый итальянский математик *НИКОЛАЙ ТАРТАЛЬЯ* (1501— 1559) положил начало разработке вопросов динамики своим сочинением «*Nuova scienza*» (1537 г). Он исследует в нем путь брошенного тела и находит его кривым от начала до конца, тогда как прежде аристотелевцы принимали, что брошенный снаряд летит сначала горизонтально, вследствие сообщенного ему насильственного движения, затем последнее переходит в смешанное круговое движение и, наконец, когда сообщенное насильственное движение угаснет, снаряд падает отвесно вниз. Тарталья видит ясно, что так называемые естественные движения должны с самого начала смешиваться с насильственными, но, тем не менее, не решается сразу выступить против господствующего мнения и допускает, что в начале и конце путь весьма мало отклоняется от прямолинейного. Так или иначе, его мысль о непосредственном смешении движений принесла положительный результат. Именно, он заметил, что пуля, пущенная из ружья в горизонтальном направлении, тотчас же опускается ниже горизонтальной линии и, следовательно, имеет дальность полета, равную нулю. Он отсюда пришел к выводу, что дальность полета всего больше, когда пуля выпущена под углом в 45° , — выводу, который случайно оказался вполне верным. Исследования Тартальи показывают, до какой степени темны были в это время представления о сложении движений и о форме линии полета. Его здравый взгляд на предмет может быть вполне оценен, если припомнить, что еще в 1561 г. некий Зантбек утверждал, будто пуля, выпущенная из ружья, летит по прямой линии до тех пор, пока сообщенное ей насильственное движение не угаснет, а затем уже мгновенно изменяет свое направление на отвесное книзу.

Тарталья происходил из бедной семьи и всю свою жизнь, невзирая на знакомства с влиятельными лицами, не поправил своего состояния. Первоначального образования он не мог получить и выучился читать лишь на четырнадцатом году. Блестящие природные дарования дали, однако, себя знать с такой быстротой, что на тридцатом году он самостоятельно нашел решение уравнений 3-й степени, для которого Феррари оставил одни намеки. По неосторожности он, правда, только в общих чертах, сообщил о своем открытии Кардану, тоже замечательному математику, и этот, доведя решение задачи до конца, обнародовал его под своим именем. Тарталья пытался было восстановить свои права и вступил с Карданом в математическое состязание, в котором он одержал верх; кроме того, он предложил ему большой диспут в Милане, в котором надеялся окончательно низложить своего противника. Однако многочисленные слушатели Кардана, явившиеся на диспут без своего профессора, заставили Тарталью покинуть город, и, таким образом, в конце концов, его открытие все-таки осталось за Карданом.

124 ИЕРОНИМ КАРДАН

ИЕРОНИМ КАРДАН (1501—1576) был многосторонним ученым; он занимался математикой, физикой, естественными науками, философией, медициной и во всех отраслях оставил более или менее выдающиеся работы. При необыкновенных дарованиях, он отличался такими странностями, что даже друзья могли объяснить их только временным помешательством. Либри в своей «Истории наук» замечает: «Если бы Кардан не сам описал свою жизнь, нельзя было бы поверить соединению стольких слабостей и противоречий в одном человеке. При непостижимом почти бесстрашии в области философии, он приходил в трепет от каждого дурного предзнаменования и (подобно своему отцу) верил в существование особого домашнего духа. Знаменитый медик, тонкий и изобретательный математик, он верил в сны и занимался магией и колдовством. Он то вел суровый образ жизни, то предавался всевозможным излишествам, переходя от роскоши к нищете. Ему хотелось все знать и все испытать. Нечувствительность его к величайшим несчастьям была так велика, что он без всякого волнения присутствовал при казни родного сына.

Кардан изучал все науки и в каждую внес какое-нибудь усовершенствование. У него достало смелости сбросить окончательно иго старины и вступить в единоборство со всей древней наукой. Для него не существовало авторитета; он доверял только указаниям собственного разума. Но при всем том смелый преобразователь, которого не путали никакие преграды, был убежден, что каждый год 1 апреля в 8 часов утра он может получить свыше все, чего бы он ни пожелал. Де-Ту рассказывает, что на 75-м году Кардан добровольно умер от голода, чтобы доказать справедливость одного из своих предсказаний. Кардан наиболее известен по своему математическому сочинению «*Artis magnae sive de regulis Algebrae liber unus*», в котором он и опубликовал вышеупомянутое решение уравнений 3-й степени. Замечательнейшие из его физических сочинений — «*De subtilitate*» (1552 г.) и «*Opus novum*» (1570). Из физических его работ лучшие относятся к механике. По отношению к наклонной плоскости он верно ставит вопрос: какая сила нужна для того, чтобы удержать тело на наклонной плоскости? Таким путем он обходит опасную необходимость признавать определенную силу для движения по горизонтальной плоскости (как это делал Папп) и доказывает вполне справедливо, что для поддержания тела на горизонтальной плоскости не нужно никакой силы, а для поддержания его на наклонной требуется сила, равная тяжести тела. Этим, впрочем, исчерпываются верные выводы Кардана, и он заканчивает уже вполне ошибочным положением, что сила должна быть прямо пропорциональна наклону плоскости, т. е., например, для наклона в 30° она должна быть вдвое более чем для наклона в 15° .

Невзирая на соперничество, Кардан и Тарталья имеют много общего в своих физических исследованиях. Оба они верно определяют предельное значение двух переменных величин, оба они приходят к выводу, что между этими пределами величины нарастают или убывают во всех случаях пропорционально изменению величины, лежащей в их основе, и оба они ошибаются. Для состояния механики в XVI в. это дурной

ПРОТИВНИКИ АРИСТОТЕЛЯ 125

показатель, что два таких замечательных математика, как Тарталья и Кардан, не могут проверить опытным путем, действительно ли имеет место утверждаемое ими пропорциональное нарастание двух величин. Кардан — противник схоластиков; он старается ниспровергнуть натурфилософию Аристотеля способом, который нам не может прийти по вкусу; именно, вместо четырех начал он принимает три: землю, воздух и воду; земля суха, вода жидка, а воздух — самая жидкая стихия. Вокруг земли непрерывно вращаются другие стихии; движение воздуха всего быстрее, — оно сообщается ему звездами. Вода не может двигаться собственными силами, она загнила бы, не будь приливов и отливов, вызываемых небесными движениями. Теплота не стихия, а особое свойство тел; холод есть отсутствие теплоты. Рядом с такими фантазиями встречаются у Кардана и точные наблюдения: он определяет скорость ветра ударами собственного пульса за недостатком других измерительных приборов и находит, что самая сильная буря продвигается вперед на 50 шагов в продолжение одного удара пульса; он определяет, что вес воды в 50 раз больше веса воздуха, но при этом отмечает, что это число неточно, и т. п. Значительная часть механических сочинений Кардана посвящена описанию механических изобретений, нередко имеющих характер фокусов. За недостатком научных работ в то время любили возбуждать удивление публики подобными выдумками. Для сидения в императорских экипажах изобретается особое приспособление (употребляемое теперь для корабельных компасов по мысли Кардана), чтобы его величество могло сидеть неподвижно при толчках. В дымовой трубе проделываются четыре отводящие трубы, соответственно четырем странам света, чтобы при противных ветрах дым мог выходить в одно из отверстий. В числе других интересных сведений Кардан сообщает, что из Германии в Милан была привезена блоха, привязанная волосом к цепи¹.

В описываемый нами период число противников аристотелевской физики быстро возрастает. Как и в древности, вслед за философским направлением в средние века появляется математическое. Но в древности оба направления могли существовать рядом и почти независимо друг от друга, теперь же гнет схоластической философии порождает в ее противниках ненависть, идущую во многих отношениях дальше своей цели.

ПЕТР РАМУС (1502—1572), даровитый французский математик, не хочет признавать даже аристотелевской логики и пишет свою, усовершенствованную. Против сочинения своего схоластического противника Карпентария «*Descriptio universae naturae ex Aristotele*» он отвечает сочинениями «*Scholarum phys.*», libri octo, 1565, и «*Scholarum metaph.*», libr. quatuordecim, 1566.

Для нас эти сочинения интересны только по смелости, с которой автор старается ниспровергнуть авторитет Аристотеля. Лично для него они имели печальные последствия — потерю кафедры и необходимость бежать из Парижа. Особые судьи, избранные для решения дела

¹ *Kästner*, *Gesch. d. Mathematik*.

126 ЭЛЕМЕНТЫ У ТЕЛЕЗИЯ. ТЕОРИЯ РАДУГИ

Рамуса, признали его самонадеянным, дерзким и неразумным человеком; а эдикт короля подтвердил, что Рамус, осмелившись порицать Аристотеля, обнаружил лишь собственное невежество. Несколько лет спустя изгнанник решил вернуться в Париж и снова занять кафедру, но был убит в Варфоломеевскую ночь, как уверяют, по наущению враждебного ему Карпентария.

Для характеристики отношений новой церкви к Аристотелю весьма любопытен ответ, полученный Рамусом от Безы (1519—1605), преемника Кальвина, на просьбу о позволении преподавать в Женеве: «Женевцы раз навсегда решили не отступать от взглядов Аристотеля ни в логике, ни в других отраслях знания». Лютер и Меланхтон тоже рекомендовали логику Аристотеля, хотя с меньшей горячностью, чем Беза. Оба эти реформатора были, разумеется, далеки от физики, но Меланхтон относился к ней не враждебно. По его мнению, естественные причины действуют с естественной необходимостью, пока бог не нарушит установленного порядка вещей.

БЕРНАРДИН ТЕЛЕЗИЙ (1508—1588) из Конзенцы основал общество естествоиспытателей, телезианскую (или консентинскую) академию, для борьбы с натурфилософией Аристотеля. В его главном сочинении «*De rerum natura juxta principia prorgia*», libri IX, два первые тома которого были напечатаны в 1565 г., он принимает единое первичное вещество и две первичные формы, или бестелесные сущности — теплоту и холод; причем все тела образуются, по его теории, от действия этих двух начал на первичную материю. Так как небо, по преимуществу, является средоточием тепла, а земное ядро — холода, то на поверхности земли возникает наибольшее число живых существ. Теплота неба неравномерна: звездные части теплее беззвездных. Вследствие неравномерного тепла однообразное вначале движение планет превращается в неравномерное. В маленьком сочинении «*De colorum generatione*» Телезий объясняет и происхождение цветов своими двумя стихиями. Тепло — причина белого, холод — черного цвета. Прочие цвета происходят, как и у презираемого им Аристотеля, из смешения двух основных.

Доктор богословия и проповедник в Бреславле **И. ФЛЕЙШЕР** (1571) в своем сочинении «*De iridibus doctrina Aristoteiis et Vitellionis*» правильно замечает, что лучи радуги претерпевают двойное преломление и единичное отражение, но помещает отражение не в той же капле, в которой происходит преломление, а в другой, лежащей позади нее. Радиус дуги он путем измерения определяет в 42° . Радуги второго порядка он не объясняет вовсе. Клихтгоф в 1543 г. считал радугу второго порядка изображением главной вследствие того, что цвета ее расположены в обратном порядке, как прибрежные предметы, отражающиеся в воде.

Менее посчастливилось при объяснении радуги **ФРАНЦИСКУ МАВРОЛИКУ** (1494—1575), оптику, весьма дельному в других отношениях, в его сочинении «*Theoremata de lumine et umbra etc.*», 1575 г. Мавролик был сын грека, бежавшего из Константинополя от чурок и поселившегося в Мессине. Он рано поступил в монастырь, но занимался преимущественно преподаванием математики. Математические трактаты

составляют большую часть его сочинений. Исследования конических сечений приобрели ему славу величайшего геометра XVI века. Но большинству он известен как автор «Оптики». При объяснении радуги у Мавролика луч отражается до семи раз в капле воды под углом в 45° и ни разу не преломляется, что, конечно, не дает результатов, согласных с опытом. Но зато мы находим у него правильное замечание, что радуга второго порядка не может быть простым изображением главной по следующим причинам: цвета главной радуги не достаточно ярки, чтобы отражаться; зеркальной поверхности для отражения не существует; отражение извратило бы не только порядок расположения цветов, но и самую дугу.

Мавролику принадлежит заслуга довольно верного объяснения действия очков. Изучая преломление светового луча в чечевицах, он заметил, что лучи, выходящие из одной точки, вновь соединяются позади чечевицы в одной какой-либо точке непреломленно проходящего луча. Это можно ясно видеть при пропускании солнечных лучей через выпуклую чечевицу в темную комнату. Истинную точку соединения, т. е. фокусную длину чечевиц, Мавролик определить не в состоянии ¹, потому что он убежден в пропорциональности углов падения и преломления; но он видит ясно, что при выпуклых стеклах получается изображение предмета позади чечевицы; что вогнутые стекла не соединяют, а напротив, еще сильнее рассеивают лучи; и что действие обоих родов чечевиц усиливается по мере увеличения их кривизны. На основании этих данных Мавролик признает хрусталик важнейшей частью глаза, указывая, что хрусталик соединяет лучи, получаемые им от предмета, и дает изображение последнего. При ненормальной кривизне хрусталика соединение лучей может произойти либо раньше, чем нужно (близорукость), либо позже (дальнозоркость). Эти-то недостатки и исправляются выпуклыми и вогнутыми стеклами очков. О назначении сетчатой оболочки глаза и о возникновении на ней изображений Мавролик не имеет ясного понятия: лучи света должны, по его мнению, падать на нерв раньше своего соединения.

Объяснение круглых солнечных изображений, наблюдаемых при известных условиях под тенью деревьев, удастся Мавролику вполне. Он указывает, что каждая точка в промежутке между листьями, через который проходит свет, представляет собой верхушку двойного светового конуса, основанием которого служит, с одной стороны, солнечный диск, а с другой — поверхность, воспринимающая свет. Изображение состоит здесь из бесконечного множества изображений, совокупность которых образует круг тем более правильный, чем меньше отверстие сравнительно с расстоянием от затененной поверхности. Древние, знавшие со времени Аристотеля не только круглые солнечные изображения, но и серпообразные при солнечных затмениях, объяснили их с чисто философской точки зрения. Именно, свет, по их мнению, после прохож-

¹ Мавролик знает, что не все световые лучи, параллельные оси, соединяются в одной точке позади чечевицы и открывает, следовательно, сферическую абберрацию для чечевиц, как Бэкон для зеркал. Каустические линии ему известны по существу, если не по названию, но форма их остается, разумеется, неопределенной.

дения через малое отверстие тем сильнее стремится принять вновь форму светящегося тела, чем более он удаляется от препятствия.

Ряд новейших механиков начинается с *ГВИДО УБАЛЬДИ*, маркиза дель-Монте (1577), известного по его сочинению «*Mechanicorum libri VI*». На нем ясно сказывается зависимость новейшей механики от архимедовской, потому что Убальди (1545—1607) был учеником Коммандино, известного уже нам переводчика архимедовского трактата о плавающих телах. Убальди сам перевел сочинение «*De aequi ponderantibus*» и написал сочинение о водоподъемном винте Архимеда. Перевод Архимеда появился спустя 10 лет после «Механики» самого Убальди. Он говорит в своей книге, что убедился в правильности положений греческого ученого и многие из них доказал; но, узнав, что еще не удовлетворил всех своих читателей, он решил для обеспечения лучшего приема собственному сочинению познакомить их с подлинным учением древнего писателя, так как «авторитет всегда много значит». В предисловии он оправдывает Архимеда, «писавшего о центре тяжести плоскостей, несмотря на то, что плоскости не имеют тяжести». Подобную плоскость можно принять за основание призмы, призма же остается в равновесии, когда центр тяжести ее основания поддерживается. В своем сочинении Убальди объясняет действие пяти простых механических машин Паппа — рычага, блока, ворота, клина и винта, — причем он сводит четыре последних к рычагу и объясняет действие рычага из отношения возможных скоростей. Галилей прямо указывает, что сочинения Убальди побудили его к дальнейшим исследованиям над центрами тяжести тел. Тем не менее, было бы неправильно признавать Убальди действительным предшественником Галилея, так как его исследования имеют исключительно статический характер. Если при описании рычага он принимает в расчет описываемые им пути (что, впрочем, делал и Аристотель), то этот случай составляет исключение в его механике. Он не умеет еще применять того же принципа даже к наклонной плоскости. Либри¹, даже восхваляет Убальди за то, что последний ставит себе единственной целью применение геометрии к механике, не допуская никаких гипотез или начал *a priori*.

Убальди, происходивший от одного из знаменитейших итальянских родов, с молодых лет посвятил себя математике. Он изучал ее в Урбино и Падуе; затем оставил родину для войны с турками, а по возвращении в 1588 г. был назначен главным инспектором тосканских крепостей. В это время он познакомился с Галилеем. Убальди рано удалился от общественных дел в свое поместье, чтобы посвятить себя исключительно науке. Умер он в 1607 г.

Английский моряк, конструктор компасов *РОБЕРТ НОРМАН* (1580) в своем небольшом сочинении «*The new attractive*» первый указывает более верное и точное знакомство со свойствами магнитной стрелки. Он открывает наклонение ее к горизонту и устраивает *inclinatorium* (т. е. магнитную стрелку, вращающуюся вокруг горизонтальной оси в магнитном меридиане), при помощи которого он определяет наклонение для Лондона в 71° 50'. Нюрнбергский уроженец Гартман, за-

¹ «*Histoire des sciences*», IV, 84.

РЕФОРМА КАЛЕНДАРЯ 129

нимавшийся устройством солнечных часов, уже в 1544 г. заметил горизонтальное наклонение магнитной стрелки, но не был в состоянии его измерить. До Нормана и его открытия относили точку притяжения магнитной стрелки в небо или же верили басням о громадных железных горах на севере, которые притягивали неосторожно приблизившиеся корабли и разрушали их, извлекая из них железные гвозди. Норман относит точку притяжения к земле, по крайней мере, для горизонтального наклонения стрелки, хотя он и не считает еще землю магнитом. Он замечает также, что намагничивание стальной иглы не увеличивает ее веса, и что, стало быть, наклонение не зависит от большей тяжести намагниченной стрелки, как могли думать другие, заметившие раньше это наклонение.

ПАПА ГРИГОРИЙ XIII (1582) разрешил, наконец, давно стоявший на очереди вопрос календарной реформы, правда, только для католических государств. Церковь была особенно заинтересована в правильном исчислении времени для установления праздников. Бэкон уже указывал на необходимость исправления календаря. Кузан писал *de reformatione calendarii*, Сикст IV вел по этому поводу переговоры с Региомontanом, Триденскому собору делались предложения в том же смысле; но только Григорию XIII удалось, после предварительного соглашения с католическими державами (1577 г.), осуществить отмену старого календаря особой буллой. Лишний день, который, по юлианскому календарю, прибавлялся через каждые 4 года, должен был теперь отбрасываться из тех годов, которых число, делясь на 100, не делилось на 400. Длина года была определена по этому исчислению в 365 дней 5 час. 49 мин. 12 сек. Между тем, по Лаланду же истинная длина его составляет 365 дней 5 час. 48 мин. 48 сек., и потому по прошествии 3600 лет должен накопиться лишний день. Когда будет лучше отбросить этот день, этот вопрос пока еще остается открытым. Пастор Леман, особенно ревностный хронолог, уже в 1842 г. советовал избрать для этой цели 2000-й год. Известный хронолог Иделер не находит, однако, нужным исключить уже теперь лишний день и даже опасается путаницы от преждевременной перемены.

В интересах церковного счисления положено было вернуться в 1582 г. к состоянию года во время Никейского собора, т. е. к 325 г. н. э., когда весеннее равноденствие пришлось на 21 марта, для чего надо было отбросить 10 дней. Необходимые переговоры затянули дело до октября 1583 г., года, наконец, после четверга 4 октября стали писать «пятница, 15 октября». Протестантские государства, долгое время отказывавшиеся одобрить предложение, исходившее от папы, в том числе Дания, Голландия и Швейцария, решили в 1699 г. ввести у себя исправленный календарь и в 1700 г. перескочили с 18 февраля на 1 марта. Англия ввела у себя новый календарь в 1752 г., Шотландия и Швеция в 1753 г. Последователи греческой церкви до сих пор придерживаются старого стиля и в настоящее время отстали уже на 12 дней ¹.

¹ В настоящем, XX веке расхождение это возросло уже до 13 дней. В СССР в скором времени после Октябрьской революции было, как известно, введено западноевропейское исчисление времени. *Прим. ред.*

130 КАЧЕНИЕ МАЯТНИКА. СЛОЖЕНИЕ СИЛ

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ (1583) наблюдает в Пизанском соборе качание люстры.

М. ВАРРО (1584) в своем «Tractatus de motu» старается объяснить действие клина сложением двух гипотетических движений. Он вообще имеет понятие о сложении сил и знает, что три силы, которые в своем действии относятся между собой как стороны прямоугольного треугольника, могут находиться в равновесии.

Сложением сил занимается и СТЕВИН (1587) в своем «Beghinselen der Weegkonst» (т. е. началах равновесия). Симон Стевин родился в 1548 г. в Брюгге, был вначале чиновником по сбору податей в родном городе, затем инспектором сухопутных и водяных сооружений в Голландии и умер в Лейдене в 1620 г. Собрание его сочинений вышло в 1634 г. под заглавием: «Les oeuvres mathematiques de Simon Stevin». Стевин занимает своеобразное место в механике. Язык его прост, ясен, точен; доказательства излагаются твердо и надежно; у него нет ни малейших признаков свойственной его времени путаницы механических понятий; мало того, он почти всегда подкрепляет свои положения хорошо придуманными и искусно выполненными опытами, так что его порою хотелось бы отнести к следующему столетию и поставить рядом с Галилеем. Но, с другой стороны, Стевин по своему методу вполне еще принадлежит древней механике, если не считать опытов, не имеющих у него, впрочем, еще того значения, которое они приобретают впоследствии. Он истый статик архимедовой школы. Его доказательствам недостает еще динамического элемента, столь резко характеризующего галилеевскую механику, а способ ведения доказательств, по обычаю статического метода, не только скрывает ход развития мысли, но и не поддается широким обобщениям. Архимедовский чисто статический метод празднует в лице Стевина свою последнюю победу, и, древняя статика как бы заканчивается его работами — открытием закона наклонной плоскости и исследованием давления жидкостей. Если вообразить себе, по Стевину, треугольник расположенным в вертикальной плоскости, с основанием, параллельным горизонту, а вокруг него сомкнутую цепь, равномерно составленную из одинаково тяжелых звеньев, и представить себе, далее, что цепь эта может двигаться вокруг треугольника без трения и препятствия, то ясно, что движение все-таки произойти не может. В самом деле, если бы движение началось в каком-нибудь направлении, то оно должно было бы продолжаться бесконечно, так как, несмотря на передвижение цепи, первоначальные условия, в силу однородности цепи, оставались бы все время неизменными. Но вечное движение невозможно, следовательно, цепь вообще должна оставаться в равновесии. Отсюда Стевин заключает, что равновесие должно существовать и в тех случаях, когда ни одна из сторон треугольника не имеет горизонтального положения и, наконец, что три силы, приложенные к одной точке, будут находиться в равновесии, если они относятся между собой, как стороны любого прямолинейного треугольника и параллельны этим сторонам. Последнее положение есть не что иное, как закон параллелограмма сил, только в иной форме. Нужно, однако, остерегаться приписывать Стевину открытие этого закона, во-первых, потому, что он не доказал в общем виде этого

ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ 131

положения, и, во-вторых, потому, что его доказательство относится только к случаю равновесия, а не к равенству движений, вызванных силами. Зато равновесия цепи вокруг треугольника, уже достаточно для открытия закона наклонной плоскости. Нижняя, горизонтально лежащая часть цепи находится сама по себе в равновесии; сила тяжести тянет отдельные звенья ее отвесно вниз, и, следовательно, она не тянет ни вправо, ни влево; поэтому и обе боковые части цепи должны находиться в равновесии. Из всего этого с полной достоверностью вытекает следующее положение: два груза, расположенные на двух наклонных сторонах треугольника, находятся в равновесии, если отношение их равно отношению этих сторон. Если одну из сторон принять вертикальной, то соответствующий ей груз будет действовать всей своей тяжестью, из чего опять следует: для поддержания груза на наклонной плоскости нужна тяжесть, относящаяся к грузу как высота наклонной плоскости относится к ее длине.

Исследование над давлением жидкостей на дно сосуда Стевин начинает с положения, что в сосуде, имеющем форму параллелепипеда, на каждый участок дна давит только лежащий над ним столб жидкости. Действительно, если бы данная часть претерпевала большее давление, то последнее могло бы происходить только от соседних столбов жидкости. В таком случае пришлось бы принять, что они и на соответствующую им часть дна производят давление, большее их веса, что привело бы к абсурду. Из первого положения Стевин выводит, что в сосуде любой формы давление, производимое на дно, равно давлению столба жидкости, который имеет своим основанием площадь дна, а высотой — высоту уровня воды в сосуде. Доказав, что замещение столба жидкости твердым телом одинакового с нею веса не изменяет давления на дно, Стевин представляет себе, далее, что в сосуде формы параллелепипеда вся жидкость, за исключением содержимого канала, ведущего ко дну, заменена твердым телом соответствующего веса: так как подобная замена не влияет на степень давления на дно, то при любом искривлении, расширении или сужении этого канала, стенки которого образованы твердым телом, давление на дно должно оставаться равным давлению лежащего над ним столба жидкости. Для наглядного доказательства этого гидростатического парадокса Стевин берет сосуды разной формы, но с одинаковой высотой уровня жидкости, проделывает одинаковые отверстия в их дне и при помощи весов прямо показывает, что во всех случаях требуется одинаковая тяжесть для поддержания пластинки, замыкающей снизу отверстие в дне сосудов.

Для определения давления на стенки сосудов Стевин делит жидкость на мелкие горизонтальные слои и вычисляет давление на соответствующие этим слоям части боковых стенок посредством метода приближения, известного уже Архимеду. Так как давление в жидкости распространяется равномерно во всех направлениях, то в каждой точке боковой стенки горизонтальное давление будет равно вертикальному; следовательно, для данного участка боковой стенки давление будет больше такого столба жидкости, который имел бы своим основанием площадь этого участка, а своей высотой — расстояние от верхней границы слоя до уровня жидкости, и меньше такого столба, который при том

132 РАВНОВЕСИЕ В ЖИДКОСТИ. ДИНАМИКА

же основании имел бы высотой расстояние от нижней границы до уровня жидкости. Суммированием Стевин находит две величины, которые в применении к бесконечно тонким водяным слоям переходят в предельную величину, принимаемую им за истинную величину давления. Для прямоугольной боковой поверхности давление равно весу такого столба жидкости, которому основанием служит площадь стенки, а высотой половина высоты площади.

Положение о равновесии воды в сообщающихся трубках Стевин прямо выводит из зависимости давления на дно от площади давления и высоты уровня. С другой стороны, он пользуется фактом равной высоты уровня в сообщающихся трубках разной ширины как опытным доказательством справедливости своего закона. Архимедовское учение о плавающих телах он расширяет общими положениями, что при равновесии центр тяжести плавающего тела должен лежать вертикально под воображаемым центром тяжести вытесненной массы жидкости и что равновесие тем устойчивее, чем глубже первая точка лежит под второй.

ДЖ. Б. БЕНЕДЕТТИ (1530—1590) был в большей степени динамиком, чем Стевин. В его сочинении «*Diversarum speculationum math. et physicarum liber*» механике посвящена особая глава, где проявляется некоторое знание инерции тел не только в состоянии покоя, но и при движении и где, кроме того, можно найти намек на действие равномерной силы, хотя самое представление о силе остается еще вполне аристотелевской «намеренной целью». Бенедетти утверждает, вопреки Аристотелю, что брошенный камень скорее задерживается, чем толкается вперед воздухом, и что движение камня, после того как он отделился от бросающей руки, зависит от известной стремительности, сообщенной ему первоначальной силой. При естественном движении (свободном падении тел) стремительность эта постепенно нарастает, так как постепенно усиливается ее причина, именно стремление тел к указанному им природой месту. Поэтому тела падают все быстрее и быстрее по мере приближения к земле. Бенедетти утверждает, далее, что все тела, каков бы ни был их вес, с одинаковой высоты падают на землю в течение одинакового промежутка времени и что тела, которым при бросании сообщено круговое движение, продолжают падать по касательной этого круга с самого того мгновения, как они предоставлены себе. Наконец, Бенедетти решает спорный вопрос XVII века — задачу о косом рычаге — следующим положением: движущая сила (*virtus movens*) любой тяжести узнается по длине перпендикуляра, опущенного из точки опоры рычага на линию наклона силы. Это положение интересно, так как оно содержит ясное определение того, что мы теперь называем моментом силы.

Бенедетти, венецианец по рождению, принадлежит к талантам, развившимся рано и притом совершенно самостоятельно. Он сам рассказывает о себе, что он никогда не обучался в школе, а только прочел четыре книги Евклида под руководством Тартальи. Дальнейшее свое образование он уже продолжал самостоятельно и, несмотря на это, на 23-м году жизни опубликовал замечательное сочинение «*Resolutio omnium Euklidis problematum aliorumque una tantummodo circuli data*

ЖИЗНЬ ТИХО ДЕ БРАГЕ 133

apretura», где он показал, как можно решить все задачи Евклида при посредстве одного циркуля. Главный труд, в котором он изложил свои физические взгляды, появился под конец его жизни и не обратил на себя заслуженного внимания. В его время требовалось, чтобы физика излагалась по Аристотелю или, в случае крайности, когда дело шло о статических отношениях, — по Архимеду. В противном случае книга не могла рассчитывать на одобрение присяжных ученых и по возможности замалчивалась. Наш ученый, между тем, был не только отъявленным врагом Аристотеля и перипатетиков, но и отличался необыкновенной ловкостью в полемике, поэтому тем больше было оснований умалчивать о его работах. Бенедетти умер в 1590 г. в звании математика герцога савойского.

45 лет прошло со времени первого издания великого творения Коперника, а между тем оно все еще не обратило на себя внимания нигде, кроме Германии. Немецкие астрономы почти все были на стороне нового учения, но это мало способствовало его распространению. Большие результаты дала в этом отношении оппозиция новому учению со стороны выдающегося астронома.

В 1588 г. *ТИХО ДЕ-БРАГЕ* обратился письменно к Пайцеру в Виттенберге и Ротману в Касселе с возражениями против системы Коперника, и в том же году началось на его обсерватории в Ураниенбурге печатание сочинения «*De mundi aetherei recentioribus phaenomenis liber secundus*» (законченного в Праге только в 1602 г.), в котором он противопоставляет свою систему учению Коперника.

Тихо родился в 1546 г. Его отец, шведский дворянин, был комендантом Гельсинборга и умер в 1571 г. В 1560 г. Тихо по желанию семьи отправился в Копенгагенский университет изучать право. Но юриспруденция, по-видимому, была ему не по душе, и в 1562 г. он переселился в Лейпциг, где занимался астрономией, а в августе 1563 г. он наблюдал противостояние Юпитера и Сатурна. Семья его не сочувствовала таким недворянским затеям и, вероятно, положила бы им конец, если бы на сторону молодого человека не перешел его дядя Стен Билле. Когда Тихо после нескольких лет странствований вернулся на родину, дядя этот устроил для него в своем имении маленькую обсерваторию и химическую лабораторию. Его наблюдения над новой звездой, которая в 1572 г. сияла ярче Венеры, а в 1574 г. исчезла, обратила общее внимание на молодого астронома. В 1574 г. он читал лекции по астрономии в Копенгагене и был представлен датскому королю Фридриху II, который подарил ему остров Хвен в Каттегате и построил для него обсерваторию Ураниенбург (1576—1580), сделавшуюся впоследствии столь знаменитой. Тихо во время своих путешествий успел познакомиться с лучшими мастерами механических приборов; он сам тщательно исследовал все инструменты, особенно круговые деления, составил — что в то время было ново — таблицы замеченных ошибок делений и по ним делал поправки к своим наблюдениям. Благодаря таким предосторожностям, наблюдения Тихо отличались точностью, которой до него не достигал никто.

В продолжение 21 года (с 1576 до 1597 гг.) Тихо производил наблюдения в Ураниенбурге в кругу многочисленных слушателей. Затем его положение стало невыносимым: Фридрих II умер, четыре советника

134 НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ПТОЛЕМЕЯ

правили государством за малолетством его наследника Христиана IV; с одним из них, Валькендорпом, Тихо имел столкновение из-за английского дога, и враги воспользовались этим случаем, чтобы его выжить. Сначала Тихо отправился в Копенгаген; когда же Валькендорп запретил ему производить наблюдения своими прежними инструментами, то он переселился в Росток. В 1599 г. окончились его переговоры с императором Рудольфом, и он отправился в Прагу в качестве императорского астронома, астролога и алхимика. Тихо получил 2000 червонцев на обзаведение, 3000 гульденов ежегодного содержания, дом в Праге, замок Бенах близ города для научных занятий и — что всего важнее, — ассистента в лице молодого астронома Кеплера. Ему не удалось, однако, долго поработать на новом поприще: после ужина, на котором было много выпито, он заболел и умер 24 октября 1601 г.

Громкая и вполне заслуженная слава Тихо основана на многочисленности и тщательности его наблюдений. Ему, однако, не пришлось вкушать теоретических плодов своей долголетней работы. Мы увидим впоследствии, как плохо оплачиваемый и многострадальный ассистент Кеплер «выведет из его данных истинные орбиты планет и исправит, таким образом, систему Коперника в одном из ее самых слабых мест. Тихо успел только убедиться в несостоятельности птолемеевой системы, и вследствие этого обратил особое внимание на планету Марс, путь которой всего менее согласуется с эксцентрическим кругом. Он вполне сознавал простоту и ясность, с которой система Коперника распутывала сложность планетных движений; допускал даже, что это наиболее удобная гипотеза для вычислений и не скупился на похвалы великому астроному. Но, тем не менее, он не решался признать, что эта система соответствует фактическому положению вещей, потому что никак не мог представить себе движения земли.

Против теории движения земли Тихо приводит следующие возражения: 1) Непонятно, каким образом при вращении земли камень, брошенный с высокой башни, может упасть у ее подножья, — возражение весьма веское в такое время, когда закон инерции был еще неизвестен. Коперник пытался опровергнуть подобные доводы допущением, что всем земным телам присуще совместно с землей круговое движение. 2) Земля — большое, тяжелое, неприспособленное для движения тело, которому невозможно кружить по воздуху наподобие звезды. Упомянутый уже Ротман в ответ на это возражал, что по наблюдениям самого Тихо солнце в 140 раз, Юпитер в 14, Сатурн в 22 раза больше земли и потому еще менее ее пригодны для вращения. Но Тихо, вопреки размерам светил, очевидно, не думал об их тяжести. 3) Если земля пробегает такое огромное пространство, то неподвижные звезды должны изменять свое кажущееся положение. Коперник, предвидя это возражение, наперед опроверг его указанием на громадность расстояния неподвижных звезд. 4) Нельзя указать силы, которая поддерживала бы параллельность земной оси при ее перемещении — довод весьма веский, как уже было отмечено выше. 5) Библия в книге Иисуса Навина, 10, 12 («солнце, остановись в Гидеоне!»), прямо опровергает учение о движении земли.

РЕФРАКЦИЯ. КОМЕТЫ 135

Последний аргумент, по-видимому, окончательно убедил Тихо в несостоятельности системы Коперника. Он придумал промежуточную систему, согласно которой, как и у Птолемея, земля находится в покое, а солнце и луна вращаются около нее; прочие же планеты движутся вокруг солнца, как у Коперника. Медлер называет эту систему недостойной великого Тихо и склонен думать, что сочинение «*De mundi aetherei recentioribus phaenomenis*», в котором изложена упомянутая система, искажено посторонними прибавлениями. Другие признают, что она представляет некоторый прогресс сравнительно с птолемеевой теорией и огромный шаг назад по сравнению с системой Коперника.

Так или иначе, Тихо ниспроверг систему Птолемея и тем подготовил окончательную и решительную победу Коперника. Благодаря славе и уважению, которыми пользовался Тихо, его система стала вскоре общеизвестной, и после того как подобный авторитет отрекся от Птолемея, никто уже не решался отстаивать его. Приходилось выбирать между половинчатой и цельной гелиоцентрическими системами. Всякий, чья совесть смущалась неподвижностью солнца; или кто из страха перед церковью чуждался крайнего революционера Коперника; всякий, чья вера в свидетельство чувств была тверже астрономических представлений, — с легким сердцем присоединялся к геогелиоцентрической системе Тихо. Только собственный ассистент Тихо Кеплер не мог согласиться с нею, несмотря на то, что Тихо до самой своей смерти не переставал убеждать его испробовать систему, столь схожую с коперниковой. Учитель Кеплера, тюрингенский профессор Мэстлин (1550—1631), который еще в 1582 г. в своей «*Epitome astronomiae*» учил по системе Птолемея, убедившись в ее несостоятельности, обратился в последователя не Тихо, а Коперника. Мало того, этот же Мэстлин своей речью, произнесенной в Италии, впервые обратил в новую веру Галилея, впоследствии знаменитого защитника системы Коперника.

Тихо был исключительно астрономом. Нам приходится упомянуть только о двух его работах, касающихся физики — о его теории комет и наблюдении над астрономической рефракцией. До Тихо кометы считались атмосферным явлением и относились к области физики. Тихо, наблюдавший комету 1577 г., не мог при самом тщательном измерении найти параллакса, и так как он при точности своих инструментов определял параллакс в 2', то он решил, что расстояние этой кометы в 28 раз больше расстояния луны, и с уверенностью исключил ее из сферы атмосферных явлений. Что касается астрономической рефракции, которая была известна гораздо раньше, но не принималась, как следует в расчет, то Тихо впервые стал ее учитывать при своих наблюдениях и жестоко осуждал другие обсерватории, например Кассельскую, которые этого не делали. Впрочем, хотя Тихо составил таблицы астрономической рефракции на основании своих наблюдений, его оптические взгляды, по-видимому, были не из самых верных. Он утверждает, например, что рефракция прекращается на высоте 45° над горизонтом и бывает различна для различных светил, солнца, луны и т. д.

ДЖАМБАТИСТА ДЕЛЛА ПОРТА (1589), одна из любопытнейших личностей XVI века, — полудиллетант, полуученый и в изрядной степени шарлатан. Его главное сочинение «*Magia naturalis sive de miraculis*

gerum naturalium», libri XX, появилось в 1589 г. во втором, действительно улучшенном издании. Порты (1538—1615) был богатым итальянским аристократом, который при своих разнообразных занятиях производит скорее впечатление любителя физики, чем настоящего физика. Он некоторыми чертами напоминает старого Плиния: так же любознателен и неутомим в собирании сведений и так же легковверен и пристрастен к чудесному. Большую часть жизни он проводит в путешествиях, везде старается узнать что-нибудь новое, завязывает знакомства с знаменитостями, изучает древних натуралистов и, наконец, в обширном компилятивном труде сообщает все им, таким образом, приобретенное. В одном только отношении Порты отличается от обыкновенного компилятора: он мастер производить опыты и потому обогащает различные отделы физики новыми открытиями¹. Зато ему недостает строгого философского ума, открывающего связь явлений, а также основательного математического образования. Вопреки духу времени, он ничего не сделал для механики и математической физики. Даже в отношении опытов следует остерегаться излишней доверчивости, так как Порты нередко описывает вещи, которых он сам не делал, и, по свойственной тогдашним ученым манере, любит придумывать смелые планы, не заботясь об их выполнимости.

Так, в своем «pneumaticorum, libri III» (позднейшей разработке одного из отделов его «Магии»), он предлагает проводить воду через горы посредством сифона. Нужно только проложить через гору трубу и снабдить ее для наполнения водою кранами на обоих концах и на верхушке. Мысль его угадать нетрудно, но если бы он хотя раз попробовал применить своей проект к горе высотой более 32 футов, то, пожалуй, он еще раньше Галилея открыл бы, что «боязнь пустоты» имеет свои пределы. По его собственным словам, Порты закончил свою «Магию» 15 лет от роду; это, значит, в 1553 г. Между тем старейший из известных экземпляров ее помечен 1558 г. Математик Брандес называет ее «безумнейшей из книг», и с ним можно согласиться, прочитав у Порты описание лампы, придающей всем присутствующим лошадиные головы, или способа определения целомудрия женщины посредством магнита. Несмотря на это или, может быть, именно поэтому сочинение Порты имело громадный успех и было переведено на итальянский, французский, испанский и арабские языки. Второе издание было значительно расширено против первого и содержало меньше фантастических опытов, вследствие чего оно и пользовалось гораздо меньшим успехом².

¹ В этом отношении возникают, впрочем, некоторые сомнения. Порты сам признает, что он испытывал тайны природы у всего света, у ученых и у рабочих. При этом он никогда не указывает источников, за исключением случаев, когда дело идет о древних ученых.

² *Либри* («Hist. des sciences», IV, 16) замечает: «Из всех сочинений Порты это имело наибольший успех. Его читали так усердно, оно прошло через столько рук, что первое издание было почти совершенно истерто от употребления и до нас дошли лишь позднейшие отпечатки. В наше время трудно понять такого рода порчу книги, притом книги о естественной магии. Но все занимающиеся библиографией знают, что подобная судьба постигла почти все книги о «тайных науках» и что в малочисленности сохранившихся

Важнейший отдел «Естественной магии» посвящен оптике. Мы находим здесь описание камеры-обскуры в простейшем ее виде. Порта указывает, что если проделать в ставне темной комнаты маленькое отверстие, то на противоположной стене будут рисоваться внешние предметы, освещенные солнцем, в естественных красках, но в обратном виде. Этого опыта он не выдает за свое собственное открытие, что, конечно, правильно, так как этот опыт был известен еще раньше, не говоря уже о том, что он подробно описан у Леонардо да-Винчи. Зато во втором издании находится описание усовершенствованного опыта, который заставляет признать Порту изобретателем нашей камеры-обскуры (хотя, правда, еще не в портативной форме). Описав известное уже нам приспособление, Порта продолжает: «Я хочу открыть тайну, о которой до сих пор имел основание умалчивать. Если вы вставите в отверстие двояковыпуклую чечевицу, то увидите предметы гораздо яснее, так ясно, что вы будете узнавать в лицо гуляющих на улице, как будто бы они находились перед вами». Свое открытие Порта тоже переносит на глаз и зрение; он называет глаз камерой-обскурой, зрачок отверстием, пропускающим свет, а хрусталик (странная ошибка со стороны человека, который учит вставлять двояковыпуклое стекло в отверстие ставни) — ширмой, воспринимающей изображения. Порта, по-видимому, не слышал о Мавролике, который ранее его дал более правильные объяснения; иначе он не говорил бы, что дальность зрения происходит вследствие слишком сухого и твердого, а близорукость — вследствие слишком влажного и мягкого хрусталика при соответственно слишком узком или широком зрачке. Всего любопытнее у Порты решение вопроса об едином видении двумя глазами; подробно изложив все существующие на этот счет гипотезы, он кратко указывает, что мы во всех случаях видим только одним глазом, притом правым, если предмет находится от нас справа, и левым, если предмет находится слева.

Камера-обскура служит Порте преимущественно для развлечения посетителей, и именно в этом отношении он удивляет своей изобретательностью. Перед чечевицей в стене он прикрепляет полую бумажную трубку, переднее отверстие которой закрыто тончайшей бумагой; на этой бумаге он рисует различные фигуры и передвигает трубку до тех пор, пока солнце не даст явственного изображения фигур на стене. Мало того, движениями трубки он умеет сообщить фигурам такое оживление, что приобретает не совсем безопасную репутацию колдуна. Камера-обскура превращается, таким образом, в волшебный фо-

экземпляров были виноваты не одни инквизиторы. Доказательством служит жалкое истрепанное состояние, в котором такие книги дошли до нас. Модный роман не читается в наши дни так жадно, как читались в то время сочинения по магии и алхимии. И ни одно из художественных произведений не удостоилось стольких отпечатков, как первое сочинение Порты. Рассказы о чудесах и сверхъестественных явлениях заменяли в то время роман. Когда автор, после многолетних научных трудов, вновь издал свое сочинение в исправленном виде, очистив его от большого количества вздора, книга выиграла в научном отношении, но настолько же упала в общем мнении. Вскоре она была отложена в сторону, наряду с другими научными трактатами, например «De subtilitate» Кардана, которых никто не читал».

138 ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА. МАГНЕТИЗМ

нарь и могла бы даже легко превратиться в солнечный микроскоп; но Порты, вообще не отличающийся излишком скромности, на этот раз не придает надлежащего значения своим опытам, так как он не понимает их важности, а потому, собственно, он и не заслуживает звания изобретателя волшебного фонаря.

Еще менее заслужена им слава изобретателя зрительной трубы. Мнение, приписывающее ему это открытие, основано на одном месте «Магии», где Порты говорит, что через вогнутую чечевицу можно видеть ясно отдаленные предметы, через выпуклую — близкие, а если уметь соединять как следует те и другие стекла вместе, то можно различать как самое близкое, так и самое отдаленное. «Многим друзьям, не видевшим ясно далеких или близких предметов», продолжает он: «я помог так, что они стали видеть все в совершенстве». Вся эта цитата темна, но последние слова ее указывают, что он имел в виду средство для людей со слабым зрением, а вовсе не зрительную трубу, открывающую новые миры и для вполне нормальных глаз. Впрочем, мы не отрицаем, что этот намек, подобно тем, о которых было упомянуто раньше (Роджер Бэкон), мог послужить стимулом для работ действительных изобретателей.

Рассуждая о вогнутых зеркалах, Порты первый высказывает совершенно верное положение, что фокус всех лучей, падающих на зеркало вблизи оси, можно без заметной ошибки поместить на середине радиуса. Относительно чечевиц он знает только, что фокус лежит позади них. Порты называет фокус точкой обращения изображения, (*punctum inversionis imaginum*), так как при изучении зажигательного зеркала он заметил, что от предметов, находящихся между фокусом и зеркалом, получаются прямые и увеличенные изображения, а от предметов, лежащих дальше фокуса, изображения обратные и уменьшенные.

Кроме оптических исследований, заслуживают еще внимания опыты Порты над магнитом. Он знает, что разноименные полюса (которые он называет дружественными) взаимно притягиваются, а одноименные (враждебные) взаимно отталкиваются; но вместе с тем он полагает, что магнит одинаково способен и притягивать и отталкивать железо, вероятно, потому, что его проволока, после притяжения сама намагнитилась. Проведением естественного магнита по железу Порты превращает последнее в магнит, затем он кладет искусственный магнит в чашке на воду или подвешивает его на нитке и таким путем находит, что каждый полюс естественного магнита образует противоположный полюс в намагниченном железе. Далее, он отмечает, что с помощью намагниченного железа можно снова изготовить любое число новых магнитов. При столь разумных опытах не обходится, конечно, без схоластического истолкования притяжения: естественный магнит содержит железо, но последнее находится в нем в весьма несовершенном состоянии и потому притягивает другое железо, чтобы этим соединением достичь совершенства¹.

¹ Кардан (стр. 124) тоже знал о подобии магнита с железом; так как железо притягивается магнитом, то он назвал последний женским, а первое мужским железом.

АКАДЕМИЯ ПОРТЫ. МИКРОСКОП 139

Порта, как уже было замечено, — довольно загадочная личность: он хвастлив, относится легкомысленно к истине, верит чудесам без всякой критики, не имеет серьезного научного направления; и, несмотря на все это, за ним нельзя не признать известных заслуг. Мы встретились уже однажды с подобным сомнительным характером в лице Кардана, и могли бы познакомиться еще с другим, знаменитым и пресловутым Парацельсом (1493—1541), виртуозом шарлатанства, который, помимо серьезного значения для медицины, имеет и перед естественными науками заслугу энергичной борьбы со схоластическим аристотелизмом. Внешняя эффектность, некоторая примесь чудесного были, по-видимому, необходимы натуралисту в эту переходную пору для приобретения ученой славы.

Следует еще упомянуть об ученом обществе, основанном Портой в 1560 г. в Неаполе, не потому, чтобы оно заслужило известность какими-либо научными трудами, а потому, что оно было первым обществом, основанным с исключительной целью содействовать развитию естествознания. Эта «Академия тайн природы» не успела, однако, раскрыть никаких тайн, потому что когда Порта должен был явиться на суд инквизиции по обвинению в колдовстве и чародействе, это общество прекратило свое существование и уже не могло вновь собраться после освобождения своего основателя.

ГАЛИЛЕЙ (1590) своими опытами над падением тел с наклонной башни в Пизе доказывает, что скорость падения тел не находится в прямой пропорциональной зависимости от их тяжести.

Мы знаем, что уже Сенека заметил увеличительную способность стеклянных сосудов с водой; что Альгазен говорит об увеличениях, получаемых с помощью сферических поверхностей, а Роджер Бэкон и Порта с увлечением описывают эти свойства чечевиц. Но никому из прежних натуралистов не приходила мысль применить чечевицы для наблюдения мельчайших предметов, недоступных простому глазу. Название микроскоп, прямо указывающее на такую цель, обязано своим происхождением Десмикиану, члену основанной в 1603 г. академии «*Dei Lyncei*» (т. е. рысей); но собственно микроскопические наблюдения с научной целью были начаты Гуком, Левенгуком и Гартсекером около 1670 г., хотя, впрочем, уже Стеллутти в 1625 г. рассматривал под микроскопом части пчелы. Все названные ученые пользовались еще простым микроскопом. Левенгук употреблял маленькие стеклянные чечевицы, увеличивавшие в 160 раз, Гук — стеклянные шарики, а Гартсекер сам плавил для себя подобные шарики перед лампой. Еще проще был водяной микроскоп С. Грея 1696 г., где капля воды, взятая на кончик иглы, помещалась в маленькое отверстие металлической пластинки и сама собой превращалась в увеличительное стекло. До какой степени затруднительно было наблюдение с такими шариками и как велика была наблюдательная способность, например. Левенгука, открывшего при помощи подобного инструмента инфузории, семянные тельца и т. д., можно судить на основании того, что, согласно исчислению Гюйгенса, шарик, имеющий 1 линию в поперечнике, увеличивает только в сто двадцать раз. Продолжительное применение простого микроскопа показывает, что потребность в сложном не была еще

140 ИЗОБРЕТЕНИЕ МИКРОСКОПА

осознана, по крайней мере, в конце XVI века, а позднее начало научных исследований служит признаком того, что в это время вообще не нуждались еще в микроскопе.

Человеку присуще естественное и заманчивое стремление увеличивать свой кругозор. Оптика давно уже обострила эту склонность различными опытами над сочетанием чечевиц и привлекла в эту сторону деятельность многих голов и рук. Изобретение зрительной трубы в начале XVII века оказывается, таким образом, вполне естественным, а ее быстрое распространение и блестящие результаты, полученные при ее помощи, свидетельствуют о своевременности открытия. Напротив, мир незримо-малого никого не привлекал в эту пору, и сложный микроскоп можно назвать преждевременным изобретением, которое было вызвано работами со зрительными трубами, но которого наука еще не сумела использовать. Сказанному ни мало не противоречит тот факт, что изобретение зрительной трубы относят обыкновенно к 1608 г., а микроскопа к 1590 г. (т. е. на 18 лет раньше). Дело в том, что 1608 г. есть год обнародования изобретения зрительной трубы, а 1590 г. является годом изобретения микроскопа; кроме того, последняя дата не является безусловно достоверной. Сведение это основано на замечании голландского посла В. Ф. Борееля (1655 г.), который слышал, что его прежний товарищ детства в Мидельбурге, оптик Захарий Янсен, вместе со своим отцом устроил первый микроскоп. Свой прибор изобретатели представили эрцгерцогу Альбрехту австрийскому, а последний подарил его Дреббелю, у которого посол и видел микроскоп в 1619 г. Сын З. Янсена тоже приписывает своему отцу изобретение микроскопа около того же времени; и так как для опровержения этих данных не существует фактов, то приходится признать 1590 г. годом изобретения микроскопа; но показания Борееля и Янсена-сына, как мы увидим дальше при изложении истории зрительных труб, не всегда заслуживают доверия.

Передача микроскопа эрцгерцогу должна была произойти, во всяком случае, после 1596 г., так как только в этом году Альбрехт вступил в Брюссель в качестве генерал-губернатора; притом не подлежит ни малейшему сомнению, что до всеобщего сведения микроскоп дошел позже зрительной трубы. Знаменитый Гюйгенс, несмотря на то, что он был голландцем, полагает, что микроскоп был изобретен не ранее 1618 г. и впервые был продемонстрирован у Дреббеля в Англии в 1621 г. Однако Галилей уже в 1612 г. устроил микроскоп и послал его в дар королю Сигизмунду польскому, но, очевидно, он не возбудил внимания своим изобретением, так как Гюйгенс в подтверждение своей точки зрения указывает, что итальянец Сиртури, писавший в 1618 г. о зрительных трубах, не упоминает еще о микроскопе.

Смелый доминиканский монах *ДЖОРДАНО БРУНО* (1550—1600), собственно, не имеет значения в специальной истории физики, но бросить взгляд на его жизнь, тем не менее, крайне поучительно для характеристики стремительного и бурного XVI века, с одной стороны, и постепенно возрастающего противодействия церкви успехам науки — с другой. Бруно родился в 1550 г. в Ноле, близ Неаполя, и вступил неизвестно когда в доминиканский орден. Сомнения насчет пресу-

ществления и аристотелевского авторитета вскоре сделали для него пребывание в монастыре невыносимым, и он бежал. В Женеве ему не удалось найти долговременного приюта, потому что он отказался принять кальвинизм; но в Париже он пристроился и преподавал с блестящим успехом. Хотя покровительство Генриха III избавило Бруно от принудительного посещения церковной службы, вражда соперников, негодующих аристотелианцев, заставила его искать убежища в Англии. В Оксфорде, где всякий магистр или бакалавр должен был платить 5 шиллингов штрафа за каждую погрешность против Аристотеля, Бруно во время празднества, данного канцлером оксфордским, Лейчестером, участвовал в блистательном словесном состязании против приверженцев Аристотеля и Птолемея. Здесь он, по собственному выражению, целых пятнадцать раз замазывал им рот так удачно, что противники могли отвечать ему только одной бранью. Несмотря на это, и по всей вероятности благодаря покровительству Елизаветы, он получил позволение читать лекции, но на короткий срок. Затем Бруно снова отправился в Париж и на большом трехдневном диспуте заявил себя по-прежнему красноречивым противником физики Аристотеля и защитником теории вращения земли. Вынужденный вторично покинуть Париж, он отправился через Марбург и Виттенберг в Гельмштедт, где герцог брауншвейгский принял его весьма милостиво и даже не допустил Бете, настоятеля Гельмштедского собора, отлучить Бруно от церкви. Но здесь, как и в других местах, гонение сделалось мало-помалу нетерпимым; Бруно переселился во Франкфурт, а оттуда, по приглашению одного венецианца — в Венецию. Здесь он вскоре лопал в руки инквизиции, и после нескольких лет заточения был (на 50-м году жизни) присужден к обычному наказанию *quam clementissime et citra sanguinis effusionem*, т. е. сожжен живым оставшись, вопреки ожиданию судей, до конца жизни верным своим убеждениям.

Бруно нельзя отнести к числу представителей новейшей физики, как того хотели некоторые. Несмотря на упорную борьбу против физических теорий Аристотеля он вообще был не физиком, а чистым философом. Его, всего скорее, можно назвать предшественником новейших натурфилософов. В декартовой теории миров, в учении Лейбница о монадах звучат там и сям отголоски мыслей Бруно, и даже Шеллинг признает, что он обязан ему многим. Для нас главная заслуга Бруно состоит в раннем признании системы Коперника и мужественной защите ее. Уже в сочинениях 1584 г. он объявляет себя сторонником этой системы и развивает ее на свой лад. Все звезды суть солнца или земли. Солнца блестят собственным светом, и вокруг них обращаются земли, получая от них свой свет. Каждое солнце окружено обширным эфирным пространством, в котором земля совершает свой путь. Таких солнечных систем имеется бесконечное множество в безграничной вселенной, и нельзя сомневаться, что на многих землях существуют, как и на нашей, благоприятные условия для жизни сознательных существ. Человек — мелкое ничтожное звено в ряду творений, подобно тому как его конечный тесный мир — пылинка в беспредельной вселенной.

142 ЗАКОН ПЛАНЕТНЫХ РАССТОЯНИЙ

ИОГАНН КЕПЛЕР (1596): *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione coelestium orbium, deque causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis et propriis, demonstratum per quinque regularia corpora geometrica*», Tübingen, 1596.

Научная деятельность Кеплера (1571—1630) по времени и по духу принадлежит XVII веку. Только его первое творение «Prodromus» обнаруживает в нем мечтательного пифагорействующего числового мистика. Все остальное им написанное стоит на почве реального точного наблюдения, хотя там и сям попадаются еще уклонения в область грез. При выходе в свет первого сочинения Кеплеру было всего 25 лет. Его учитель Мэстлин убедил юношу, предназначавшегося для духовного звания, посвятить себя математике и астрономии и, едва тот окончил университетский курс (1593), выхлопотал для него место профессора математики и этики в Граце. Здесь молодой астроном опубликовал в 1594 г. календарь, а два года спустя «Mysterium cosmographicum». Сочинение это, как показывает заглавие, касается преимущественно закона расстояний пяти известных в то время планет от солнца в интерпретации Коперника.

Представим себе, что вокруг солнца описан шар, проходящий через Меркурий; если вокруг этого шара мы опишем правильный октаэдр, а вокруг последнего опять шар, то на поверхности второго шара будет Венера. Описав вокруг последнего шара икосаэдр, мы получим на окружности третьего шара, описанного вокруг икосаэдра, Землю. Идя таким образом все далее и далее и описывая попеременно додекаэдр, шар, тетраэдр, шар, гексаэдр, шар, увидим, что последние три шаровые поверхности будут последовательно проходить через три остальные планеты — Марс, Юпитер и Сатурн. Построение это только приблизительно отвечает положению двух последних планет и, разумеется, не имеет значения для современной науки, стремящейся открывать не только закономерности, но и причины последних. Тем не менее, оно свидетельствует о поразительной способности Кеплера связывать отдаленнейшие явления и открывать отношения, никому не приходившие на ум. Без этой способности он никогда бы не пришел к своим знаменитым законам планетных движений. Упомянутое выше сочинение имеет, сверх того, заслугу безусловного признания системы Коперника, распространение которой не подвинулось еще ни на шаг за пределами Германии, и строгой приверженности ее положениям. Лично для Кеплера его первый труд имел и дурные и хорошие последствия. Духовенству он стал ненавистен, но приобрел громкую славу между астрономами. Тихо де-Браге пожелал с ним познакомиться, и когда преследование протестантов в Штирии обострилось, он очень кстати пригласил его к себе в Прагу.

В заключение ряда физиков этого столетия назовем *ПИККОЛОМИНИ* (1597), который снова обращается к проблеме свободного падения тел и отвергает старое толкование, не предугадывая, конечно, решения наступающего столетия. Пикколомини в своей «*Liber Scientiae de natura*» замечает, что Аристотель по отношению к легким и тяжелым телам установил несколько положений, противоречащих опыту, и что

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 143

его законы отношения скоростей падающих тел даже прямо неверны, так как вдвое более тяжелый камень не падает вдвое скорее. Это положение еще ранее и весьма основательно опроверг Стевин, указав, что 10 кирпичей одинаковой величины, падающих порознь с одинаковой скоростью, не станут падать в 10 раз скорее, если их бросить связанными вместе.

XVI столетие, как мы видели, успело уже вполне овладеть древней наукой. Все, что не погибло безвозвратно, было разыскано и стало общедоступным благодаря переводам и пояснениям. Это отличительная черта рассмотренного нами века. Однако в физике собственно еще незаметно существенных успехов. Натурфилософия и математическая физика разошлись совершенно. В своем преклонении перед Аристотелем философия отрицает всякое дальнейшее развитие, а математическая физика продолжает работать над старыми задачами, не завоевав, однако, новых областей для исследования.

Только XVII столетие выходит твердыми стопами за заповедную черту древней науки, признав экспериментальный метод истинным физическим методом. Новое направление, благодаря своим поразительным результатам, приобретает вскоре общее признание. *Философы и математики одинаково спешат воспользоваться его плодами; при помощи нового метода разрозненные ветви физики вскоре соединятся в цельную самостоятельную науку.* Таков, по крайней мере, идеал, к которому в различные периоды этого века более или менее сознательно, более или менее ревностно стремятся люди науки. Но, как всякое совершенство, идеал остается более или менее недостижимым, он не открывается во всей полноте и дает приблизиться к себе лишь немногим гениальным избранныкам.

Нас ранее удивляло, что греческая физика началась с натурфилософии, делавшей свои выводы «из недостаточно доказанных общих положений, и что она не только не стремилась к опытному исследованию, но даже от случайных наблюдений старалась прямо «перейти к общим истинам философского порядка или к математическим обобщениям. Теперь мы имели случай убедиться, что и средние века шли по тому же пути, можно сказать, еще с большим упорством, и что старой натурфилософии нужно было сначала вырождаться и доказать полную свою непригодность, прежде чем человек решился снизойти к началу и сделать попытку подняться от вполне исследованных частных явлений к общим выводам. Стало быть, не природе одних греков, а человеческой природе вообще свойственна склонность, не довольствуясь методами, ведущими вперед медленными, обдуманними и строго проверенными шагами, постоянно пытаться сразу, одним усилием объяснить все загадочное, всю природу. *При этом, естественно, чем дальше люди находятся от истинной цели, тем понятнее их склонность признавать опытный путь безнадежным и искать спасения в чистом умозрении.*

144 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нужно, однако, с другой стороны, остерегаться несправедливого отношения к заслугам философии и математики перед физикой и чрезмерной переоценки экспериментального метода, чему, к сожалению, бывали примеры и в наши дни. Искусство производить опыты само по себе совершенно неспособно действительно двигать науку вперед. Умозрение, проникающее за пределы современного состояния опыта, будет всегда указывать путь и диктовать план для дальнейшего наблюдения. С другой стороны, наука о явлениях природы всегда будет находиться в зависимости от математики при исследовании явлений с количественной стороны.

Идеал физики, как мы уже говорили, заключается в сочетании опытного исследования, математики и философии, взаимодействием этих трех факторов и обуславливается успех нашей науки в последующих столетиях. Там, где тот или другой метод преобладает над остальными, в развитии всегда рано или поздно замечается застой. Но когда эти три фактора соединяются в должном соотношении в одном человеке, появляется гений, создающий новую эпоху в истории науки. Такой гениальный человек стоит у истока новейшей физики. Мы говорим об ее основателе — Галилее.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Августин 74
Аверроэс 94, 95, 108, 109
Авиценна 87, 88, 91
Альбаттани 85, 93
Альберт Великий 88, 99, 100, 101, 102, 107
Альбируни 91
Альгазен 88, 89, 90, 94, 105, 106, 107
Альгацини 90, 91, 92, 93, 94
Аль-Мамун 85
Альхайтам 90, 92, 94
Анаксагор 17, 21, 38, 39, 40, 41
Анаксимандр 19, 35
Андроник 44
Ансельм Кентерберийский 96
Антемий 76, 77
Аристарх Самосский 55, 59, 62, 63, 73, 120
Аристотель 17, 22, 23, 32, 34, 37, 38, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 60, 64, 66, 68, 70, 71, 77, 79, 83, 94, 95, 97, 98, 107, 109, 113, 115, 121, 122, 125, 126, 141, 143
Аристофан 65
Архимед 18, 24, 25, 52, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 70, 71, 74, 75, 76, 91, 94, 130, 131
Архит 18, 42, 52
Бенедетти 132
Боккачио 109
Боэций 76
Бруно Дж. 140, 141
Бэкон Роджер 83, 102, 103, 104, 106, 107
Бэкон Френсис 43
Вальтер 112, 113
Видеман Э. 84, 89, 90, 94
Вик фон, Генрих 109
Вильде 30
Вителло 107
Витрувий 53, 64, 65
Вольф 30
Выгодский 23
Галилей 60, 115, 130, 139, 140, 144
Гартсекер 139
Гебер 26, 83, 84
Гегель 6
Гейберг 25
Гераклид Понтский 37
Герберт 87, 109
Герон 24, 25, 53, 61, 62, 65
Гипатия 75
Гиппарх 62, 63
Гомперц 14, 15, 21
Гоппе 7
Гопфнер 14
Гораций 40
Гук 139
Гумбольдт А. 80

Гутенберг 111
Гюйгенс 140
Дамиан 70
Даннеман 25
Декарт 64, 115
Демокрит 18, 21, 22, 33, 40, 41, 46, 51, 64
Джиоя 101
Дрэпер 30, 34
Дюгем 5
Дюринг 30
Евдем 51
Евдокс 42, 43, 59
Евклид 24, 25, 54, 60, 65, 70, 71
Евсевий 74
Жильберт 116
Зутер 30
Ибервег 30
Иделер 32
Иероним Фракасторий 119
Калипп 42, 43
Кантор 30, 36, 75, 83, 87, 90
Кардан 101, 123, 124, 125, 138, 139
Кеплер 115, 134, 135, 142
Клеант 64
Клеомед 65
Колумб 113, 114
Коммандино 118
Коперник 119, 120, 121, 122, 135
Копп 30, 83
Ксенофан 38
Ктезибий 61, 62
Кузанский Николай 110, 111
Кэстнер 30, 110, 125
Лагранж 58
Ланге 22, 30
Ланжевен 6
Лаплас 69
Левенгук 139
Лейкипп 40
Ленин В. И. 5
Леонардо да-Винчи 116, 117, 137
Либри 30, 136
Лукреций 64, 66
Лулл Раймонд 106
Лурье 14
Льюис 30, 34, 35, 37, 44, 49, 82, 109
Мавролик 126, 127
Марк Грек 102
Маркс К. 6
Мах 5, 17
Менелай 91
Метон 41

Монтюкла 30
Мюллер 17
Норман 128
Оккам 100
Папп 75
Парацельс 139
Парменид 20, 21
Петрарка 109
Пеурбах 112, 113, 119
Пешель 37, 61
Пикколомини 142
Пифагор 20, 36, 73, 74
Платон 20, 22, 23, 33, 34, 37, 38, 42
Плиний Мл. 67
Плиний Старш. 66, 67, 73, 106
Плотин 73
Плутарх 60, 61
Поггендорф 6, 30, 76
Порта 135, 136, 137, 138, 139
Посидоний 63
Прокл 73, 76
Проут 19
Птолемей 17, 52, 62, 63, 68, 69, 70, 71, 72, 85, 89, 95, 105, 121, 122
Рамус 125
Региомонтан 86, 112, 113
Рейнгольд Эразм 122
Сальвино Арматти 107
Секст Юлий Фронтин 68
Сенека 66
Скиапарелли 43
Созиген 64
Сократ 37, 43
Соловьев 22
Стевин 130, 131, 132
Таннери 19, 26
Тарталья 123, 124
Телезий 126
Теодорик 108
Теофраст 51
Тихо де-Браге 115, 121, 122, 133, 134, 135
Убальди 128
Уэвелль 30, 49
Фалес 19, 34
Феон 75
Фернель 119
Филолай 37
Филон Византийский 25, 63
Фирмиан Лактанций 74
Фирмик Матерний 74
Фишер 30
Флейшер 126
Фома Аквинат 99

Фор 14
Ханыков 80, 82, 90, 92, 93
Хвольсон 6
Цицерон 31, 57, 60, 73
Шварц 103
Швейгер 33
Шейнер 99
Эвктемон 41
Экфант 37
Эмпедокл 17, 20, 21, 39, 40, 41
Энгельс Фр. 16, 17
Эпикур 18, 22, 51
Эратосфен 61, 85
Ямвлих 74
Янсен Зах. 140

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Альмагест 68, 69, 85, 95, 112
Алхимия 83, 84
Арабские цифры 87
Ареометр 75
Астрология 76
Винт 60
Волны воздушные 65
Высота атмосферы 89
Гармонические тоны 36
Геронов фонтан 62
— шар 62
Гномон 35
Градусное измерение 61, 63, 119
Давление гидростатическое 131
Динамика 44, 123, 130, 132
Закон наклонной плоскости 118, 124, 130
— отражения света 54, 88
— преломления света 65, 69, 89, 105
— рычага 45, 118, 128, 132
Зрительные лучи 40, 46; 54, 70, 88
Календарь 41, 129
Камера-обскура 118, 137
Капиллярность 93, 118
Книгопечатание 111
Компас 102, 114, 128
Магнетизм 34, 84, 85, 110, 129, 136, 138
Микроскоп 139, 140
Очки 107, 108
Падение свободное 45, 132, 139, 142, 143
Писчая бумага 103
Пифагорейцы 36
Планетарий 60
Полиспаг 60
Порох 102
Радуга 47, 66, 107, 126, 127
Система мира Гиппарха 62
— — Коперника 120
— — Пифагора 37
— — Птолемея 68
Сифон 136
Труба зрительная 106, 140
Удельные веса 91
Фокусное расстояние 105, 138
Центры тяжести 58, 75, 128
Часы башенные 109
— водяные 62, 83
— песочные 62
— солнечные 35
Элеаты 38
Эфир 45

Редакционную работу по этой книге провел *А. П. Юшкевич*. Издание оформила *О. Н. Персиянинова*. Корректуру держала *А. П. Татаринова*. Наблюдала за выпуском *А. Л. Татаринова*. Рукопись сдана в производство 8/V 1933 г., листы подписаны к печати 5/III 1934 г., Книга вышла в свет в марте 1934 г., в количестве 5.000 экз., на бумаге формата 62X94¹/₁₆, печатных знаков в 1 бум. листе 99.520. Бум. листов 4⁵/₈, авт. л. 11¹/₂. Заказ № 907. ГТТИ № 55. Уполн. Главлита № Б 34102.

**DIE GESCHICHTE DER
PHYSIK
IN GRUNDZÜGEN**

von

**DR. FERD. ROSENBERGER
ZWEITER TEIL
GESCHICHTE DER PHYSIK
IN DER NEUEREN ZEIT
BRAUNSCHWEIG, FR. VIEWEG UND SOHN
1884**

**Ф. РОЗЕНБЕРГЕР
ИСТОРИЯ ФИЗИКИ**

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО ПОД РЕД. И. СЕЧЕНОВА
ВНОВЬ ПРОВЕРЕННЫЙ И ПЕРЕРАБОТАННЫЙ В. С. ГОХМАНОМ

Предисловие С. Ф. ВАСИЛЬЕВА

**ЧАСТЬ ВТОРАЯ
ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В НОВОЕ
ВРЕМЯ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА — 1933 — ЛЕНИНГРАД**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	5
Предисловие к немецкому изданию	38
Введение	39
I. Период возникновения новой физики (приблизительно с 1600 до 1650 г.)	43
II. Период преобладания экспериментальной физики (приблизительно с 1650 до 1690 г.)	150
III. Период преобладания математической физики (приблизительно с 1690 до 1750 г.)	213
IV. Период электричества от трения (приблизительно от 1750 до 1780 г.)	283
Именной указатель	334
Предметный указатель	342

Т 14-5-4

2-я типография ОНТИ имени Евгении Соколовой, Ленинград, проспект
Красных командиров, 29

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Второй том работы Розенберга посвящен описанию эволюции физики в XVII и первой половине XVIII вв. Эпоха, охваченная Розенбергером в этом томе, представляется одной из важнейших в истории физики. Именно в XVII в. вырабатывались и складывались те основные методологические концепции, которые лежат в основе здания всей современной науки о неживой природе, именно в XVII в. наметились и выкристаллизовались основные направления физической методологии, борьба которых, многообразно модифицируясь от десятилетия к десятилетию, дошла до наших дней. Понятия «феноменолог», «механист» и т. д. мы часто применяем для квалификации тех или иных теоретиков физики наших дней. Между тем исторические корни как феноменологической, так и механистической концепции физики, а равно и ряда других методологических ее направлений, уходят далеко в XVII столетие. Поэтому анализ основных идейных группировок физики XVII в. представляет не только исторический интерес,— анализ этот вплотную подводит нас к самым животрепещущим вопросам современности¹.

Глубокое принципиальное значение противоречивых и взаимно исключающих друг друга систем идей, которые сформировались на поприще физики в XVII столетии, требует особенно тонкого и внимательного исследования. Методу историка здесь должны предъявляться особенно повышенные требования. И нужно сказать прямо, что Ро-

¹ Что мы отнюдь не преувеличиваем, подчеркивая важность идейной борьбы XVII в. для наших дней, может свидетельствовать следующий пример. Хотя учение об электричестве почти совершенно не существовало в XVII в. (первые зародыши его стали развиваться лишь во второй половине XVIII в.), однако методологическая борьба по поводу роли физической теории, развернувшаяся в XVII в., предвосхитила основные группировки, которые создались в электродинамике ко второй половине XIX в., и сохранились до настоящего времени. В конце концов, жаркий спор между В. Ф. Миткевичем и Я. С. Френкелем, отчет о котором появился в № 3, 8 и 10 журнала «Электричество» за 1930 г. и отголоски которого дают себя знать как в предисловии ко 2-му изданию книги В. Ф. Миткевича, «Физические основы электротехники» (Ленинград, Кубуч, 1932 г.), так равно и в его статье «О природе электрического тока» (Сорена № 3 за 1932 г.), представляет собой не что иное, как модифицированный применительно к новому материалу старый спор картезианцев и ньютонианцев, развертывавшийся с переменным успехом для каждой из сторон со второй половины XVII и на всем протяжении XVIII вв. Центральный пункт этого спора возможность *actio in distans* — в конце концов ни у Миткевича, ни у Френкеля не получил никаких новых аргументов по сравнению с XVII в.

6 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

зенбергеру, несмотря на все его достоинства в качестве историка физики, не удастся вполне удовлетворительно справиться с этой задачей. Методологические предпосылки, из которых исходит немецкий историк и которые изложены им в предисловии к первому тому его работы, слишком скудны и примитивны, чтобы при их помощи можно было развернуть действительную картину эволюции научной мысли XVII в. Основной тезис Розенбергера, сводящийся к утверждению, что только единство философского анализа, математической обработки и эксперимента может обусловить реальный прогресс физического знания, несмотря на всю его бесспорность, оказывается далеко не достаточным при анализе основных физических концепций XVII в. как в силу своей большой общности, так и в силу полного отсутствия в нем исторического момента. В результате ряд оценок Розенбергера оказывается слишком скоропалительным и часто неверным, ряд — далеко не полным и не выражающим специфику момента.

Не собираясь в настоящем предисловии дать отсутствующий у Розенбергера социальный анализ эволюции проблем физики и заменить неполные и скудные теоретические построения немецкого историка развернутой марксистской концепцией, мы все же попытаемся набросать некоторый схематический общий абрис идейных течений эпохи путем кое-каких дополнений и исправлений ошибок в лежащей перед читателем книге.

Одной из характерных черт грандиозного научного переворота, совершившегося в XVII в., является то обстоятельство, что официальные научные учреждения, имеющие известные традиции, не только не принимали в нем участия, но, наоборот, стали в резкую оппозицию ему. Говоря об официальных научных учреждениях, мы имеем в виду, прежде всего университеты. Ведь, в самом деле, то обстоятельство, что люди, с описания деятельности которых, обычно начинают историю новой науки, не имели никакого отношения к университетскому преподаванию, является весьма примечательным. Ни Бэкон, этот гениальный дилетант, занимавшийся наукой в периоды вынужденной политической бездеятельности, ни Декарт, старательно уединявшийся от взоров официальных ученых и обращавшийся в Сорбонну только из страха обидеть ее ортодоксальных аргусов, не были университетскими профессорами. Исключение представляет лишь Галилей. Но это исключение только подтверждает правило. Галилей должен был бросить кафедру вскоре же после опубликования своего *Nuntius sidereus*, т. е. в самом начале своей творческой деятельности, ибо с его научной добросовестностью было несовместимо защищать при преподавании одну точку зрения, а научно разрабатывать другую.

И это обстоятельство, разумеется, не является случайностью.

Что представляла собой официальная университетская наука конца XVI и начала XVII столетий? Гуманистическая традиция уже завоевала себе право гражданства. Авторитет древних стоял очень высоко. Университетское преподавание целиком ориентировалось на античные образцы, из которых на первом месте стояли Аристотель и Платон. Вследствие этого все научные исследования носили, главным образом, филологический характер. Естественные науки поглощались филоло-

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

гией и квалифицировались как своеобразное любительство, не имеющее никакого отношения к практической жизни. Если в университетах, например, существовали математические кафедры, то оправданием их в глазах университетской администрации бы то лишь то, что работники их выпускают и комментируют сочинения древних авторов. Впрочем, и все остальные науки рассматривались как нечто абсолютно чуждое и независимое от практики. Даже такая практическая по своему существу отрасль знания, как медицина, носила чисто литературный характер, и ее университетские руководители упражнялись более в красноречии, чем во врачевании. Это находило себе выражение хотя бы в том остром антагонизме, который существовал весь XVI и начало XVII вв. между анатомами и врачами. Врачи строили свою науку на литературных и спекулятивных основаниях, третировали хирургов как ремесленников, недостойных быть допущенными в храм науки, и сами, за очень редкими исключениями (Везалий, Фабриций, Гарвей), совершенно не занимались секциями¹.

Этот общий дух научного преподавания и исследовательской работы, естественно, не мог удовлетворить новые общественные слои, поднимавшиеся с растущим капиталистическим производством и желавшие теоретически осмыслить свою собственную промышленную и техническую деятельность. Резкое выражение такой неудовлетворенности можно неоднократно встретить в сочинениях трех названных уже нами теоретических гигантов XVII в. — Бэкона, Декарта и Галилея. Бэкон, наиболее надышавшийся атмосферой университетской науки благодаря полученному им юридическому образованию, громит эту науку с таким красноречием, что силу его гневных декламаций можно сравнить лишь с таким непревзойденным шедевром, как «Похвала глупости» Эразма². Декарт неоднократно сетует на бесплодность научного образования, полученного им у наиболее искусных педагогов XVII в., иезуитов, и советует с самого начала забыть все, чему учат в школах³. Борьбу с «идолами» Бэкона и методическое сомнение

¹ См. *Nordenskiöld. Geschichte der Biologie*, стр. 102 — 103.

² «Если вы выбросите, говорит Бэкон — из естественной истории басни, замечания на древность, ссылки авторов, пустые препирательства, словом, филологию и украшения, — все эти вещи весьма хорошие, чтобы служить материалом для бесед во время обеда или для развлечения ученых во время бессонных ночей, но вовсе не способные служить основанием для философии, — если вы выбросите, говорю я, все эти пустяки, то вы убедитесь, что эта история обратится почти в ничто» (Соч. Бэкона, перев. Бибикова, СПб. 1874 г., т. 1, стр. 187).

³ «Меня с детства обучали наукам, — пишет Декарт, — и так как меня уверили, что с их помощью можно приобрести ясное и надежное знание полезного в жизни, то я имел сильное желание изучить их. Но как только я окончил курс наук, после которого люди обыкновенно принимаются в ряды ученых, я совершенно переменял мнение, ибо почувствовал себя запутавшимся в стольких сомнениях и заблуждениях, что из моего учения, казалось, не извлек другой пользы, кроме того, что более и более убеждался в своем невежестве. А между тем я учился в одной из наиболее сильных школ Европы и думал, что, если существуют где-либо на земле ученые люди, то они должны находится там». («Рассуждение о методе», перев. Тымянского, М, 1925, стр. 32). Дальнейшие автобиографические замечания в таком же стиле см. на стр. 38—39.

8 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

Декарта следует, в конце концов, понимать именно как борьбу с апперцепциями, полученными в результате схоластической школы.

Галилей идет теми же путями. Он бросает медицинский факультет в Пизе (где работал известный Цезальпин), так как его не удовлетворяет ученый хлам, сосредоточенный под университетской кровлей, и отдается самообразованию под руководством вольнопрактикующего инженера-математика аббата Остилио Риччи¹. Умственное развитие его совершается, таким образом, вне рамок цеховой науки, и, поступив впоследствии в качестве профессора в университет, Галилей с большим трудом мог внешне приспособиться (и то лишь на сравнительно короткое время) к традициям ученого цеха.

Пренебрежительное отношение к официальному ученому миру, не удовлетворявшему новым потребностям общественного развития, проходит красной нитью через произведения всех трех основоположников современной науки. Их громадный интерес к развитию производительных сил, их ярко выраженные буржуазные симпатии, их стремления теоретически научно осмыслить промышленную, техническую практику, не могли найти никакой умственной пищи в идейном кругу присяжного ученого цеха.

В умственный горизонт последнего никак не могло уложиться положение о том, что наука должна стать простым орудием практики, положение, составляющее центральную идею все трех реформаторов естествознания XVII в. Ученый цех «даже не предполагал, что наука может предписывать правила работы человека, сделать ее сразу более простой и плодотворной и сделать ее доступной для всех после небольшого изучения...»². Наука изучалась, в конце концов, только для самой себя.

В противовес этому, новые мыслители обращают внимание именно на практическую сторону науки. В конце концов, их идеалом было соединение концепции строгой, детерминистической науки, подобной той, которую создали наиболее глубокие умы античного мира, с концепцией искусства, сформировавшейся в эпоху средневековья.

Этот идеал объясняет в их деятельности почти все, если не совершенно все.

В самом деле, достаточно привести хотя бы один из афоризмов Бэкона, чтобы убедиться в этом. «Знание и могущество человека, — говорит английский философ, — во всем соответствуют яруг другу и стремятся к одной и той же цели; незнание причины не позволяет нам пользоваться ее результатами, ибо побеждать природу, можно только повинувшись ей, и что было основанием, следствием или причиной в тео-

¹ Заметим, кстати, что Розенбергер недооценивает значения этого человека для идейного формирования Галилея. Большую роль он приписывает пифагорейским влияниям Мадзони, чем технико-математическим установкам Риччи. Гораздо более правильную картину умственного развития Галилея рисует Ольшки в своей исключительно интересной работе «Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur» (см. т. III. «Galilei und seine Zeit» 1922) русский перевод вскоре выходит в издании ГТТИ).

² Ch. Adam, La vie de Descartes (Oeuvres de Descartes, ed. Ch. Adam et P. Tannery, т. XII. стр. 228).

ПРЕДИСЛОВИЕ 9

рии, то становится правилом, целью или средством в практике»¹. Совершенно аналогичные мысли можно во множестве встретить и у Декарта и у Галилея. Мы не станем их приводить, так как гораздо лучшим свидетельством, чем словесные декларации, будет изложение некоторых фактов из их жизни и деятельности.

Весьма характерным для Декарта является то обстоятельство, что он, несмотря на все свои дворянские привилегии, очень мало общался с людьми своего социального ранга. Наоборот, он предпочитал общество мелких буржуа, ремесленников, промышленников, купцов и т. д. Особенно характерны связи именно с ремесленниками. В частности, переписка его с гончаром Феррье, с которым он был особенно близок, представляет величайший интерес. Когда д'Алибер выдвинул идею основания школы искусств и ремесел для работников, желающих подучиться, Декарт с радостью ухватился за нее и стал даже набрасывать учебные планы предполагаемого учебного заведения. Мнения и взгляды людей практики Декарт ценил очень высоко. Он не боялся это подчеркивать в своих произведениях. «Мне казалось, — пишет он, например, в «Рассуждении о методе», — что я мог встретить гораздо больше истины в рассуждениях, которые каждый делает о делах, непосредственно его касающихся, и результат которых, в случае ошибки, немедленно должен его наказать, чем в кабинетных рассуждениях ученого по поводу бесполезных спекуляций, имеющих лишь одно последствие: он станет тем более тщеславен, чем удаленнее его рассуждения от здравого смысла, так как в этом случае он должен был употребить тем более ума и искусства, чтобы сделать их правдоподобными»².

Более резкого противопоставления реальных знаний ремесленников и псевдоучености схоластики сделать нельзя. Этим, очевидно, и объясняется то обстоятельство, что Декарт предпочитал вербовать себе учеников и слушателей именно из круга ремесленников³. Мы не упо-

¹ Перевод Бибикова, т. II, стр. 108. Ср. также предисловие к «Усовершенствованию наук»: «Мы желаем предупредить всех людей, чтобы они не упускали из виду настоящей цели наук и убедились, что не следует ею заниматься ради пустого времяпрепровождения, или ради предмета, пригодного для споров, или ради того, чтобы презреть других, или из-за собственных интересов, или чтобы прославить свое имя, или ради увеличения своего могущества, или ради какого бы то ни было подобного повода, но чтобы принести пользу и приложить ее к потребностям жизни» (там же, т. I, стр. 70—71).

² Перев. Тымянского, стр. 38.

³ В этом отношении характерны следующие малоизвестные факты из биографии Декарта. Вращаясь постоянно в кругу ремесленников, Декарт и слуг себе брал из этой среды. Один из его слуг, Жилло, был обучен им математике и настолько овладел ее методами, что в период полемики Декарта с Ферма решал задачи, присылаемые Ферма Декарту. Впоследствии он по рекомендации Декарта стал преподавателем математики в инженерной школе в Лейдене. Другой его слуга, Гутшовен, был подготовлен Декартом к занятию кафедры физики и математики в Лувенском университете. Последний из его слуг, Шлютер, тоже получил от своего хозяина солидные знания. Простой сапожник Дирк Рембранц был превращен Декартом в астронома. И это еще далеко не все имена. О приведенных фактах см. «Oeuvres», изд. Адама и Таннери, т. V, стр. 265—267, 3.58, 411, 493; т. XI, стр. VII, XIII—XIV; т. XII, стр. 272, 263, 470.

10 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

минаем уже о том, что сам Декарт очень много занимался изучением ремесел и, в частности, самым живейшим образом интересовался техникой дела шлифования стекла, придумывая всевозможные аппараты для ее улучшения.

Совершенно аналогично обстоит дело с Галилеем. Бросив учение на медицинском факультете, и начав под руководством Риччи заниматься математикой, Галилей познакомился с этой наукой не в ее абстрактных, оторванных от практики формах, но, наоборот, в ее практических применениях. В своем доме в Падуе он создал мастерскую, в которой вместе с помощником изготовлял всякие инструменты и машины. В этой именно мастерской он создал оросительную машину, получившую привилегию от венецианского правительства, и телескоп. Он много работал в качестве военного инженера и так же, как Декарт, с радостью набросал очень интересный учебный план для частной академии, подготовляющей военных, устроенной в 1607 г. военным комендантом Падуи ¹. Любопытно перечисление технических знаний, которыми располагал Галилей в ту пору, когда он решил бросить университетскую кафедру. Это перечисление сделано им в письме к Ванте, министру герцога Тосканского, на службу к которому хотел поступить Галилей. Галилей пишет, что он занимался «учением об укреплениях, учением о боевых строях, топографией, артиллерийским инструментальным искусством» и упоминает об изобретенном им пропорциональном циркуле, получившем уже тогда повсеместное распространение.

Естественно, что при таких установках язык цеховой науки не мог удовлетворить ни Галилея, ни Декарта (Бэкон в этом отношении был менее требователен), и они, прекрасно владея латинским языком, предпочитали печатать свои произведения на родном языке, доступном для тех кругов, в сочувствии и понимании которых они были крайне заинтересованы.

То обстоятельство, что Галилей печатал свои произведения на итальянском, а Декарт на французском языках, никак не может быть признано фактом второстепенного порядка. Ведь при господстве интернационального научного языка — латыни — основоположники современного естествознания, печатая свои сочинения на разговорном языке народных масс, сознательно шли в разрез с цеховой наукой. Они, конечно, отлично понимали, что язык их сочинений суживает распространение их идей определенными территориальными границами. Они испытывали большие затруднения, пытаясь выразить свои идеи на языках, не имевших еще никаких научных традиций и не обладавших сколько-нибудь развитой терминологией ². Однако они шли на это.

¹ В этом плане Галилей предлагал организовать изучение арифметики, геометрии (как планиметрии, так и стереометрии), механики, вместе с ее приложениями, артиллерийской науки, применения компаса и всевозможных чертежных и геодезических инструментов, теории перспективы и архитектуры.

² Особенно это дает себя знать у Декарта. В его переписке неоднократно можно встретить места, где он, после тщетных попыток выразить какое-либо математическое или физическое доказательство на французском языке, сразу переходит на латинский и с необычайной краткостью, ясностью и точностью формулирует все, что ему нужно.

ПРЕДИСЛОВИЕ 11

И это была правильная тактика. Профессиональный язык цеховых ученых сохранял в себе все черты их науки. Обсуждать на этом языке проблемы техники это значило просто-напросто нарушать все приличия и статуты цеховой учености. «*Stereometria doliorum*» Кеплера казалась в этой атмосфере нелепостью. Трактовать ученым языком способы вычисления объемов бочек! Как будто бы это имеет какое-то отношение к науке! И не случайно то обстоятельство, что Кеплер не мог найти издателя для этого своего произведения и издал его на свой счет. Если Декарт не испытал затруднений с французским изданием «Геометрии», то только потому, что эта капитальная математическая работа французского философа была издана им совместно с «Диоптрикой» и «Метеорами», имевшими прикладное значение¹.

Лучше всего этот языковой антагонизм, выражавший собою антагонизм социальных сил, выявил Галилей. «Я пишу по-итальянски, — сообщил он в письме к Паоло Гвальдо, — для того, чтобы каждый мог прочесть мое письмо и работы. Меня побудило к этому зрелище того, как многие приступают обычно к занятиям, не имея к ним склонности, посвящают себя профессии врача и т. д., нисколько не будучи к тому способными; и как, наоборот, другие, которые были бы способны к этому, погрязают или в домашних заботах, или в других далеких от науки занятиях, потому что при всех своих природных дарованиях они не в состоянии прочесть латинских трудов и уговаривают себя затем, что эти томищи содержат сплошь важные и не доступные их разуму вещи по логике и метафизике; они должны убедиться, что природа, давшая им, как и философам, глаза, чтобы видеть ее творения, дала им также разум, чтобы быть в состоянии постигать их»². Олышки совершенно справедливо замечает по этому поводу: «Ясно, что требования нецеховой публики были для него (Галилея) ближе, чем привычки ученых, потому что он чувствовал себя связанным с первыми; обстоятельства укрепили его в этом мнении. Язык указывает пути, какими наука из занятия узко ограниченного круга стала делом общего значения задолго до того, как просветительная публицистика, либерализм и демократические учреждения оказались благоприятными для их развития»³.

Мы останавливаемся на всех этих обстоятельствах потому, что они дают необходимый социологический фон для той картины, которую рисует Розенбергер. В конце концов, в Декарте, Бэконе и Галилее, как затем в Ньютоне и Лейбнице, отразились лишь общие исторические условия, которыми было окружено возникновение современного естествознания. Без этих исторических условий нельзя понять тех определяющих причин, которые вызвали бурную борьбу идей, которой полон весь XVII в.

Розенбергер избегает постановки вопроса о причинах естественнонаучного прогресса в XVII в. Он излагает факты, как летописец, «не

¹ Пять лет спустя после выхода декартовых «Метеоров» иезуит Фурнье широко использовал эту работу для своей «Гидрографии» (вышла в 1643 г.), предназначенной для пользования моряками.

² Соч. Ediz. nazion., т. XI стр. 327.

³ Gesch. d. neusprachlich. wiss. Literaiur, т. III (Цитировано по Олышки).

мудрствуя лукаво» над социальной подоплекой их. Если ему приходится иногда касаться общего вопроса о движущих силах процесса развития знаний, он дает крайне неопределенные и расплывчатые формулировки. «В долгий промежуток научной ночи, — говорит он, например, — в уме человеческого как бы накопился запас сил, которые при первой возможности заявили о себе, быстро двинув вперед все науки и очищая всюду научную атмосферу от мрака суеверия»¹. Никакого же более конкретного и реального объяснения, почему «расчистилась научная атмосфера» и «рассеялся туман суеверий», он не дает. Да он и не может его дать, потому что теснейшая связь всей научной проблематики XVII в. с потребностями быстро развивающейся техники осталась им совершенно незамеченной. В результате в лучшем случае немецкий историк оставляет излагаемые им факты без объяснения, а в худшем окутывает их идеалистической фразеологией, подсказывающей читателю совершенно неверные заключения.

Приведем наудачу один пример.

«Натурфилософия Аристотеля, — утверждает Розенбергер, — приводит Галилея к динамике, но он тотчас же вступает в противоречие с нею»². Этот вывод базируется на известном заявлении Галилея, что тот «уделил больше лет изучению философии, чем часов — изучению математики». Как бы расширительно ни толковать эти слова Галилея, вывод Розенбергера не может быть признан правильным. В конце концов, Розенбергер принимает здесь «видимость» явления за его «сущность». Конечно, формально Галилей «идет» от Аристотеля, т. е. динамика излагается гениальным итальянцем в процессе критического разбора перипатетической доктрины. Но из этого отнюдь еще не следует делать вывод, что она создавалась именно этим путем, т. е. что Галилей формулировал все свои принципы в процессе чисто интеллектуального преодоления Стагирита и идейного размежевания с ним. Само это размежевание было вызвано общественными причинами. Примитивная динамика Аристотеля не могла удовлетворить теоретических запросов техники, которая была подлинной специальностью Галилея, и именно из анализа технических проблем, а не кабинетных размышлений над сочинениями Аристотеля родилась динамика.

Характерно, что Розенбергер, упоминая имя Аристотеля, не упоминает другого, более скромного имени, сыгравшего (хотя и косвенно) в идейной родословной Галилея гораздо более значительную роль. Мы имеем в виду Тарталья.

В уже цитированной работе, посвященной истории научной литературы, Ольшки справедливо пишет о Тарталье: «Стало тривиальностью, что война обогащает и совершенствует технические изобретения людей. Но она редко, или даже, пожалуй, никогда так решительно не содействовала теоретическому познанию, как в этот раз. Тарталья дал в своей первой книге (речь идет о «Новой науке». С. В.) научно систематизированную и практически пригодную теорию баллистики, выполнив, таким образом, задачу, которую до него поставили

¹ См. стр. 44 наст. изд.

² Стр. 54 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 13

себе художники и инженеры и над которой тщетно бился Леонардо да Винчи. Но сверх того он обратил внимание на основополагающее значение исследования движения падения при стрельбе, произведшего переворот в учении о движении и указавшего пути к неизвестной до этого отрасли физики — динамике»¹. Сочинения Тартальи получили огромное распространение в среде военных. Торричелли свидетельствует, что еще в его эпоху артиллеристы пользовались в своей практике работами и теориями Тартальи. И Галилей, конечно, был с ними знаком.

Именно отправляясь от баллистических проблем, от потребностей военной техники, от тех инженерно-механических задач, в которые ввел его Риччи, Галилей и пришел к своей динамике. Потребности материальной культуры, поднимавшейся от ремесленного традиционализма до теоретически осмысленной, научно обоснованной, рационализированной организации технического процесса — вот истинный источник научного вдохновения Галилея. Если мы упоминаем здесь имя Тартальи, если мы подчеркиваем огромное значение баллистических проблем в процессе оформления научной динамики, то именно потому, что и своих динамических работах Галилей выступил сначала как теоретик баллистики, а затем уже пришел к созданию общединамического учения². И далеко не безразличным литературным аксессуаром галилеевых «Discorsi» является то обстоятельство, что диалог выведенных тут персонажей разворачивается в венецианском арсенале, и различные проблемы статики и динамики разрешаются собеседниками в процессе обсуждения вопросов, связанных с работой машин.

В сочинениях Галилея все внутренние мотивы, обусловившие его исследования, обнаруживаются с достаточной ясностью и прозрачностью, и нужно действительно находиться в плену идеалистической концепции, чтобы этого не заметить. К сожалению, Розенбергер пошел по традиционному пути и не принял во внимание показаний такого важного свидетеля, каким является сам Галилей.

Конечно, формально галилеева динамика выходит из критики перипатетической доктрины. Но за этой формальной стороной дела нельзя забывать существа. Ведь формальное построение некоторых работ Галилея может дать повод даже для утверждения, что взгляды итальянского ученого, в конце концов, являются простым логическим развитием взглядов Аристотеля. В этом отношении характерно, например, «Рассуждение о телах, пребывающих в воде». Хотя Галилей и стремится в названном произведении защитить взгляды Архимеда, подкрепив их новыми соображениями, родившимися из практики, однако формально он предпочитает ссылаться не на Архимеда, а на Аристотеля. Это — простой тактический прием. Сочинения Архимеда не пользовались в глазах современной Галилею аристотелизирующей схоластики таким авторитетом, как сочинения Аристотеля. И Галилей, поэтому решил обратиться к той зародышевой формули-

¹ Gesch. d. neusprachlich. wiss. Literatur, т. III.

² О самой тесной связи механических исследований Галилея с запросами военного дела и в частности артиллерийского искусства см. в очень интересной работе Нилуса «История материальной части артиллерии», т. I, СПб. 1904.

ровке принципа возможных перемещений, которая встречается в «Вопросах динамики», приписываемых Аристотелю, чтобы затем вывести из этого принципа все основы архимедовой гидростатики¹.

Если принять эту видимость за сущность, то можно придти к тем же выводам, к которым приходит и Розенбергер. Однако внимательное чтение Галилея покажет, что как самая формулировка принципа возможных перемещений, значительно отличающаяся у Галилея от аристотелевой, так и побудительные мотивы, приведшие к ней, не дают абсолютно никаких оснований для подобных заключений.

Эта основная ошибка Розенбергера приводит его, в конце концов, и к совершенно неправильной оценке общего значения Галилея в истории физики. Общая характеристика Галилея Розенбергером сводится к утверждению, что Галилей гармонически сочетал три метода физического познания, именно — метод философский, математический и экспериментальный: Это, конечно, верно, но все же не выражает всего того, что нужно было бы здесь подчеркнуть.

Реально дело не столько в том, что Галилей сочетал эксперимент, математику и философию в единое целое, сколько в том, что он впервые *широко теоретически осмыслил* важнейшие технические проблемы своей эпохи. В этом отношении мы, как нам кажется, не можем сделать ничего лучшего, как выписать ту характеристику научного творчества Галилея, которую дает Ольшевский в своей, неоднократно нами уже упоминавшейся работе. «Для Галилея... характерно... при постоянном сочетании теоретических и практических интересов то, что теоретические вопросы получают перевес над чисто техническими. Этим научное исследование Галилея отличается от трудов его предшественников и современников, ставивших аналогичные вопросы и решавших их дилетантским и случайным образом. Проблемы сбережения силы и эффективности машин, меткости выстрелов, сопротивление крепостных сооружений — это все те же вопросы, которые уже на протяжении двух веков обсуждались технической литературой. Но Галилей рассматривал традицию мастерских... главным образом как область для опытов и наблюдений, которые должны были привести в первую голову к установлению теоретических основ механических искусств. В виду этого его формулировка этих вопросов принципиально отлична, и решение их отнюдь не зависит от какой бы то ни было традиции мастерских и теоретиков, хотя его внимание и устремлено было постоянно на возможность практического применения теоретически и экспериментально установленных учений»².

Аналогичную ошибку делает Розенбергер и в отношении Декарта. Здесь, помимо рассмотрения французского философа как чисто кабинетного мыслителя, он, по традиционному обычаю, считает его слишком большим философом, чтобы признать хорошим естествоиспытателем.

¹ См. «Рассуждение» Галилея в сб. «Начала гидростатики» (Госуд. технико-теорет. изд. 1932), стр. 147—148.

² Gesch. d. neusprachlich. wiss. Literatur, т. III.

ПРЕДИСЛОВИЕ 15

Общая схема Розенбергера такова: падение схоластики нанесло огромный урон философии вообще. Однако последняя обнаружила все же достаточные жизненные силы, чтобы снова расцвести. Воскрешение ее было произведено Декартом, совместно с Бэконом¹.

Основная ошибка этой схемы заключается в некоторой склонности к отождествлению схоластики с философией вообще. В самом деле, далеко не очевидно, что разгром схоластики должен был нанести урон философии. Если одна философская школа (в данном случае — аристотелизм) терпит крушение, то это отнюдь не означает еще, что от этого должны страдать другие (в данном случае механицизм). Очевидно, Розенбергер здесь тоже находился в плену традиционного представления, что схоластика культивировала исключительно априоризм, в то время как новое естествознание стало на эмпиристическую точку зрения. Хотя подобное представление пользуется большим распространением и насчитывает солидную давность, это не мешает ему быть не совсем верным. Схоластика не была сплошь рационалистичной. В аристотелизирующем мировоззрении вообще, а в XVI в. в особенности была значительная эмпиристическая струя. Подробнее мы об этом скажем, когда будем касаться физико-иезуитов. Сейчас же нам важно подчеркнуть, что общая схема Розенбергера нуждается с этой стороны в поправках. В поправках она нуждается и с другой стороны. Именно метод Декарта не был сплошь априорным, как он рисуется Розенбергеру.

Декарт сам является в этом случае прекрасным свидетелем. Достаточно перелистать его переписку, чтобы убедиться, как живо интересовался французский философ эмпирическим естествознанием своей эпохи. Если он не считал эмпирию единственным органом познания, то ведь и Розенбергер охотно согласится с тем, что один голый эксперимент, не связанный ни с какими теоретическими умозрениями, никогда не расширял сферы нашего знания. Чтобы, не приводя примеров, показать читателю внимание Декарта к эмпирии, мы сошлемся на одно его письмо к Мерсенну, этому информационному бюро ученых XVII в. Мерсенн запросил Декарта о том, как следует, вообще говоря, производить научные наблюдения. Декарт ответил на этот вопрос: «Об этом мне нечего сказать после того, что написал Веруламец. Замечу только, что не следует быть слишком любопытным и исследовать все мелкие частности какого-либо предмета; в первую очередь следует составить общий перечень наиболее обычных вещей, являющихся самыми достоверными, которые можно познать без особого труда» (письмо от 23 декабря 1630 г.)². Но кроме наблюдений, Декарт приписывал огромную роль гипотезам, а это как раз и составляло слабую сторону учения Бэкона³.

¹ Стр. 44 — 45 наст. изд.

² «Oeuvres», т. I, стр. 195—196. Об отношении в «Веруламцу» см. также стр. 109, 251 и 318.

³ Заметим, что именно Декарт посоветовал Паскалю произвести опыты измерения барометрического давления у подошвы и на вершине горы (см. «Oeuvres de Descartes», т. V, стр. 100—106, и «Oeuvres de Pascal», т. 11, стр. 580—358). Сам Декарт не мог проделать этих опытов, так как в Голландии, где он жил, нет гор. Позже эти опыты проделал и Гассенди (см. *Bougerel, Vie de Pierre Gassendi*, стр. 345).

16 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

Розенбергер с некоторой иронией излагает картезианскую гносеологию. Мы не собираемся защищать последнюю. Конечно, она совершенно устарела. Но все же, вместо иронии, лучше было бы дать ее историческое объяснение. Последнего-то и нет в изложении Розенбергера.

«Да, мыслить хоть в сомненья, значит — быть!
Вот первое окно, что удалось открыть
Для блеска внутреннего дня. Идея
Прирождена; она глядит, смелея,
Глядит в себя; и бесконечность в нас
Сияет и лучится, как алмаз,
И бог уже не кажется обманом.
Но дух, еще готический, хранит
Тела, в которых дрожь стихов бежит
Отзывчивым мистическим органом».

В этих, посвященных Декарту строках Верхарна гораздо больше исторического чутья, чем в изложении Розенбергера. Да, дух Декарта «еще готический», но Декарт ставил себе не малую задачу: на развалинах аристотелизма построить здание новой рациональной физики, здание такой философии, с помощью которой «зная силу и действие огня, воды, воздуха, светил, небес и других тел, окружающих нас, также отчетливо, как мы знаем разные ремесла наших мастеров, мы будем в состоянии применять их таким же образом ко всякому делу, к которому они пригодны, и стать, таким образом, господами и владетелями природы»¹.

Бороться с аристотелизмом не так-то легко. Перипатетическая философия через Фому Аквинского была официально канонизирована католической церковью. На Аристотеля как бы распространялась божественная санкция, и выступать против него это значило бороться с католицизмом. Декарт это отлично понимал. Теология, — писал он Мерсенну, — «столь привержена к Аристотелю, что кажется почти невозможным излагать иную философию, чтобы она не представлялась направленной против веры»². А так как, «готический дух» Декарта не располагал его к слишком явным конфликтам с религией, то он и попытался распространить на свою философию такую же божественную санкцию, какой обладала аристотелева. Отсюда и берет начало важное гносеологическое значение в философии Декарта понятия бога. Не нужно забывать, что ведь основы своей гносеологии Декарт излагал уже после процесса Галилея.

Но, в конце концов, все это — детали. Гораздо важнее тот пробел в изложении декартовой физики, который допускает Розенбергер, излагая механическое учение французского мыслителя. Надо сказать прямо, что в сфере собственно физики построения французского философа не дают того привкуса «готического духа», который чувствуется в его психологии и особенно гносеологии. Маркс решительно характеризовал физику Декарта как *материалистическую физику*. «В своей *физике*, — пишет Маркс, — Декарт приписывает *материи*

¹ «Рассуждение о методе», стр. 96.

² «Oeuvres», т. I. стр. 85—86.

ПРЕДИСЛОВИЕ 17

самостоятельную творческую силу и *механическое* движение рассматривает как проявление жизни последней. Он совершенно отделяет свою *физику* от своей *метафизики*. В *границах* его физики *материя* представляет собою единственную *субстанцию*, единственное основание бытия и познания»¹. И это представляется нам совершенно справедливым. А так как Декарт, кроме того, был решительным противником формального, математического метода физики, расцветшего так сильно в произведениях последующих ньютонианцев, то и его механика должна была приобрести ряд специфических черт, делающих ее гораздо более гибкой, чем метафизический формализм конструкций математической физики, примыкавшей формально к «Математическим началам натуральной философии» Ньютона.

Разумеется, мы не хотим этим сказать, что в механике Декарта не было тех ошибок, на которые указывает Розенбергер. Отнюдь нет. Эти ошибки были, но, тем не менее, *методологическая основа* картезианской механики была выше ньютонианской.

Здесь мы подходим к тому самому понятию «силы», различная трактовка которого так резко противопоставлена в истории физики картезианцев и ньютонианцев. Ниже нам придется остановиться на диализе этого понятия более подробно. В настоящей же связи мы укажем только на следующее. С точки зрения принципов Декарта, всякое свойство природы, не подведенное под категории пространства и движения, не может быть отнесено к разряду *причин*, а наоборот, должно рассматриваться как *проблема*. А если это так, то всякий закон природы, в выражении которого фигурируют, кроме пространства и движения, какие-либо другие факторы, является лишь предварительным эмпирическим обобщением, в основе которого лежит какое-то иное, более глубокое отношение. С этой точки зрения и понятие «силы» тоже должно быть отнесено к числу *проблем*, а не причин. Впоследствии Кант очень хорошо выразил противоположность такого *кинетического* мировоззрения *динамическому*, берущему начало от Ньютона. Для кинетистов, сказал Кант, *движение есть причина силы*, для динамистов же, наоборот, *сила есть причина движения*.

В интерпретации самих принципов механики эта различная трактовка понятия «силы» должна была сказаться в том, что динамистическая механика склонна была приобрести куда более метафизический характер, чем кинетическая. Если сила есть первоначальное исходное свойство тел, то ясно, что, например, сила тяготения, с которою земля действует на какое-либо тело, например камень, не зависит от скорости движения камня. Правило сложения скоростей применимо, таким образом, без всяких ограничений как к покоящемуся, так и к движущемуся с любой скоростью телу. Масса этого тела во всех случаях остается неизменной. Совсем иначе дело представляется в свет картезианских принципов. Если сила является не первоначальной причиной движения, а сама есть результат какого-то состояния промежуточной среды, окружающей как землю, так и камень (это состояние есть совокупность сложных вихревых движений), то а priori совсем не обязательно,

¹ Соч., т. III, стр. 154, курсив Маркса.

чтобы действие этой среды на поведение тела не зависело от движения последнего. «Такая независимость, — справедливо указывает Умов, — будет частным случаем, который не может быть возведен в аксиому»¹.

Иными словами, для картезианской механики пропорциональность сил и скоростей, постоянство массы и закон сложения скоростей отнюдь не являются теми а priori ясными аксиомами, какими хотели их представить ньютонианцы. «Картезианец не может говорить об одной и той же силе, которая действовала бы на одно и то же тело, но в двух различных состояниях движения»². Аксиома о равенстве действия и противодействия для картезианцев также не аксиома, а специальная теорема, которую нужно доказать, исходя из особых свойств промежуточной между телами среды.

Конечно, можно отмахнуться от всего этого, сказав, что для XVII в. все преимущества были на стороне механики Ньютона благодаря ее формальной ясности и простоте. Последнее, конечно, верно. Но ведь мы имеем дело в данном случае с *историей* физики. А с точки зрения исторической было бы ошибкой замалчивать сильные стороны механики Декарта. Это тем более ошибочно, что взгляды Декарта не остались без последствий, а наоборот, сыграли большую историческую роль. В последующей эволюции физики не раз можно встретить попытки воскрешения воззрений Декарта на иной, более строгой теоретической основе. Особенно важное значение такие попытки имели в сфере электродинамики. В конце концов, та, своеобразная трактовка механики, которую дал Больцман в своих замечательных «Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik», и в особенности «Механика» Герца, являются не чем иным, как воскрешением методов Декарта на новой основе. Но Больцман и Герц были не одиноки. Можно привести целый ряд имен (в первую голову — Томсона), частью фигурирующих в III томе работы Розенбергера, которые шли по тому же пути. Современная релятивистическая механика, несмотря на весь ее формализм, тоже в значительной мере проникнута картезианскими принципами. Все это и дало право одному современному теоретику науки сказать, что картезианская физика «кажется бесконечно более близкой к нам, чем это допускает эпоха, в которую она родилась»³.

Перейдем теперь к оценке Розенбергером Бэкона. Здесь он занимает более правильные позиции, чем в отношении Галилея и Декарта. Правда, в изложении биографии философа он не мог удержаться от морализующих ламентаций на «сомнительность характера» английского лорд-канцлера⁴. Но, в конце концов, всякий честный буржуа хочет продемонстрировать свой добродетельный образ мыслей. Простим это похвальное намерение и Розенбергеру, тем более что у нас найдутся дела и поважнее.

Гораздо хуже, что в бэконовском индуктивизме и восхвалении

¹ «Значение Декарта в истории физических наук»; Opera omnia, т. III,

² Там же, стр. 116.

² Там же, стр. 116.

³ E. Meyerson, De l'explication dans les sciences, т. II, стр. 238.

⁴ Стр. 97 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 19

опыта Розенбергер хочет видеть предвосхищение критицизма. Это уже совсем не то, что обвинение во взяточничестве. Если последнее еще можно подкрепить кое-какими доказательствами (правда, не бесспорными), то насчет кантианских элементов теории познания, будто бы проповедуемых основателем английского эмпиризма, дело не выйдет. Доказать это невозможно. Для этого участие рационального элемента бэконовой теории опыта слишком слабо. Борьба против «идолов», решительно проводимая английским мыслителем, настолько радикальна, что даже перехлестывает через край. Философ начисто отвергает не только всякие априорные элементы познания, но, как это признает сам Розенбергер, не оставляет в своем методе даже никакого места для гипотез¹.

Как же после этого можно говорить о предвосхищении Бэконом критицизма, в котором так сильна априористическая, рационалистическая струя? Гораздо естественнее было бы обвинять Бэкона в теории «машинального опыта», в чистом эмпиризме, не признающем рационального момента познания. Такие обвинения в литературе встречаются довольно часто. Мы не станем их разбирать, так как это отвлечет нас в сторону. Нам важно только констатировать в этом вопросе ошибку Розенбергера.

Оценка Розенбергером Бэкона должна нас задержать еще по одному соображению. Подчеркивая индуктивизм философа, Розенбергер обнаруживает, что для него самого, как физика, решающая противоположность различных путей физического познания лежит в мнимой непримиримости дедукции — индукции, причем он совершенно игнорирует проблему анализ — синтез. Этим, вероятно, и объясняется то обстоятельство, что, поддерживая индуктивизм, он считает разрыв Бэкона со схоластикой гораздо более радикальным, чем разрыв Декарта. Подобное мнение нам кажется ошибочным, по крайней мере, поскольку речь идет о физике. В другой связи мы еще вернемся к этому вопросу, а пока остановимся на проблеме индукции и анализа. Чтобы быть краткими, мы предоставим слово Энгельсу, превосходно выразившему квинтэссенцию проблемы. «Индукция и дедукция, — говорит автор «Диалектики природы», — связаны между собою столь же необходимым образом, как синтез и анализ. Вместо того чтобы превозносить одну из них до небес за счет другой, лучше стараться применять каждую на своем месте, а этого можно добиться лишь в том случае, если иметь в виду их связь, их взаимное дополнение друг другом. По мнению индуктивистов, индукция является непогрешимым методом. Это настолько неверно, что все ее, якобы, надежнейшие результаты ежедневно опровергаются новыми открытиями...»².

«Замечательный пример того, насколько основательны претензии индукции быть единственной или хотя бы основной формой научных открытий, дает термодинамика. Паровая машина является поразительнейшим доказательством того, что можно из теплоты получить механическое движение. 100 000 паровых машин доказывали это не более

¹ Стр. 106 наст. изд.

² Стр. 106 наст. изд.

³ «Архив» М. и Э., кн. II, стр. 58—59.

убедительно, чем одна машина, но они все более и более заставляли физиков заняться объяснением этого. Сади Карно первый серьезно взялся за это, но не путем индукции. Он изучил паровую машину, анализировал ее, нашел, что в ней основной процесс не выступает в чистом виде, а заслонен всякого рода побочными обстоятельствами, и создал идеальную паровую машину (или газовую машину), которую также «нельзя построить практически, как нельзя, например, провести практически геометрическую линию или поверхность, но которая оказывает по-своему такие же услуги, как эти математические абстракции: она представляет рассматриваемый процесс в чистом, независимом, неприкрытом виде. И он носом наткнулся на механический эквивалент теплоты (см. значение его функции C), которого он не мог открыть и увидеть лишь потому, что верил в теплород»¹.

Энгельс пользуется здесь примером термодинамики. Но с таким же успехом можно говорить и о механике. Разве все сказанное Энгельсом не может быть целиком распространено и на процесс открытия Галилеем и Декартом принципа инерции? Разве 1000 опытов Дешаля с падением тел дали больше для установления принципов динамики, чем однократное падение шара по наклонной плоскости, проанализированное Галилеем? Ведь и самая постановка опыта с наклонной плоскостью стала возможной лишь в результате предварительной аналитической работы. Распространение данных этого опыта на свободное падение тоже обязано анализу. Недостаточность взглядов Розенбергера, скованность его мировоззрения традиционной точкой зрения проявляются в этом случае необычайно ярко.

Перейдем к другой важной проблеме, освещение которой у Розенбергера оставляет желать лучшего. Мы уже говорили, что новое естествознание рождалось независимо от цеховой науки и встречалось ею враждебно. К большим достоинствам книги Розенбергера относится то, что он не игнорировал и произведений профессионалов ученого цеха. Однако, не понимая классовой подоплеку антагонизма между представителями официальной науки и независимыми мыслителями, выражавшими тенденции буржуазного развития, он дал совершенно превратное освещение научной продукции и мировоззрения естествоиспытателей церковников.

Констатировав факт наличия реакционной схоластической оппозиции новым научным веяниям, Розенбергер пишет: «Хотя эти противники новизны (старые философы XVII в., перипатетики) в своей оппозиции не останавливались ни перед какими средствами, но на самом деле они принесли науке больше пользы, чем вреда, так как самые *нападки их свидетельствовали о новом духе науки*. Производя, например, опыты с падением тел в надежде опровергнуть закон Галилея, или пробуя объяснить барометрические явления независимо от давления воздуха, перипатетики невольно стали признавать за наблюдением значение научного метода. *Коль скоро приверженцы старых взглядов обратились к опытному исследованию, они тем самым признали природу источником физических истин*; тем самым натурфилософия в соб-

¹ «Архив» М. и Э., кн. II, стр. 68—69. См. также стр. 182 183. 216—217.

ПРЕДИСЛОВИЕ 21

ственном смысле была обречена на гибель и указывала путь, который вел непосредственно к новой науке»¹.

Эта тирада в книге такого серьезного исследователя, как Розенбергер, способна вызвать только величайшее удивление. Ведь по ее прямому смыслу процесс против Галилея должен был принести историческую пользу, ибо «свидетельствовал о новом духе науки». Естественное следствие этого процесса полное исчезновение свободного научного исследования в Италии (после осуждения Галилея только его непосредственные ученики, Кавальери, Торричелли, Борелли и несколько других, продолжали научную работу; после же их смерти мы на протяжении всего XVII в. не можем назвать ни одного выдающего итальянского ученого), совершенно не учитывается Розенбергером. Да и вообще факт активной поддержки инквизицией традиций старой науки кажется Розенбергеру совершенно внешним, не вытекающим из внутренних закономерностей эпохи². Розенбергер только отмечает, что хотя формально католическая церковь и вышла победительницей из процесса Галилея, по существу она оказалась побежденной, так как должна была признать за научным наблюдением независимый от нее авторитет. И Розенбергер добавляет, что в результате через некоторое время чуть ли не все католические попы стали ревностными экспериментаторами.

Видеть в этом поражение официальной католической философской доктрины, это значит — не видеть ничего. Традиционная точка зрения, рассматривающая схоластику как чисто рационалистическое, априористическое учение, сослужила здесь Розенбергеру плохую службу. В связи с этим он оказался не в состоянии сколько-нибудь правильно охарактеризовать и научное творчество физиков-иезуитов.

Схоластическая точка зрения в физике наиболее ярко в XVII в. была представлена именно физиками-иезуитами. Поэтому нам придется остановиться на анализе их работ довольно подробно. Большое значение, которое имел орден Иисуса в событиях XVII в., впрочем, вполне оправдывает такое внимание к произведениям его членов³.

Основанный в 1534 г. иезуитский орден к началу XVII в. превратился в весьма значительную силу и стал играть первую скрипку во всем контр реформационном оркестре. Благочестивые цели ордена осуществлялись им самыми разнообразными средствами, причем одним из важнейших орудий ордена была организация образования в определенном духе. Но помимо развертывания сети школ, иезуиты уделили очень много внимания специфической организации научной работы, так как отлично понимали, что растущее на базисе естествознания буржуазное свободомыслие может привести к самым неприятным для церкви последствиям. За вызванным реформацией расколом не должен был следовать раскол знания. Поэтому церковники стали

¹ Стр. 43 наст. изд.

² Стр. 43—44 наст. изд.

³ В статье «К вопросу о происхождении механического мировоззрения» (т. XVI «Известий Азербайджанского государственного университета») автору этих строк приходилось уже давать общую оценку методологии иезуитской физики. В дальнейшем изложении будет дано лишь резюме этой оценки, иллюстрированное кое-какими фактами.

активно стремиться в корне уничтожить всякий фермент «духовного разложения», накапливающийся в сфере естествознания.

По учебным планам орденских школ единственным руководителем в философских вопросах должен был служить Аристотель. А так как естествознание входило в конфликт с доктриной Стагирита, то возникала задача: привести все новые естественнонаучные открытия в вид, не противоречащий аристотелеву учению.

Член ордена по уставу не имел права выпускать ни одной печатной работы без предварительного ее одобрения орденской администрацией. Это позволило ордену выступить действительно, как единому целому, и методология иезуитских сочинений представляет собой прекрасный пример выдержанности и ортодоксальности перипатетического толка¹.

Розенбергер перечисляет важнейшие сочинения по физике, вышедшие из-под пера иезуитов в XVII в. Однако характеристика их, даваемая на страницах его книги, совершенно неудовлетворительна.

Так, несмотря на некрасивую роль, которую играл в процессе Галилея патер Шейнер, он остается все же «добрым патером»². Вместе с Шоттом Шейнер признается прилежным исследователем, которому, однако, нахватает «инициативы гениального ума»³. Кирхер называется Розенбергером «скорее собирателем, чем самостоятельным ученым»⁴. По поводу Кабео немецкий историк находит нужным заметить, что «одно только чистое экспериментальное искусство не в состоянии обусловить действительный прогресс»⁵. Кирхер квалифицируется им как «физик старой школы, воспринявший от нового времени только некоторое умение наблюдать», но «охотно идущий по стопам натур-философии древних»⁶. По поводу Риччиоли говорится только, что тот «по убеждению или же в качестве послушного сына церкви был противником системы Коперника»⁷. Только в связи с Гримальди Розенбергер несколько меняет стать своих лаконических оценок. «В лице Гримальди, — пишет он, — мы познакомились с известнейшим из физиков иезуитов. Их было много в то время, и во всех них легко заметить *некоторое фамильное сходство*. Почти все они — недурные наблюдатели, перенимают умело и успешно чужие открытия, и нередко развивают их дальше. *Но пробивать новые пути вообще не их дело*. Исключение из этого правила составляет Гримальди. Он, по крайней мере, бесспорно, первый заметил и понял явление дифракции и, изучая его опытным путем, не дал себя сбить схоластически-философскими уклонами.

¹ В огромной иезуитской естественнонаучной литературе XVII в. нам известен только один случай полемики между двумя членами ордена. Это — полемика между эпигенетиком Нитгэмом и преформистом овулистского толка Спалланцани. Сам предмет спора, однако, был настолько характерен, что вполне понятным становится разрешение полемики орденской администрацией. Речь шла лишь о том, какая из биологических теорий—преформистская эволюция или эпигенезис — более отвечает требованиям религии.

² Стр. 74 наст. изд.

³ Стр. 94 наст. изд.

⁴ Стр. 114 наст. изд.

⁵ Стр. 114 наст. изд.

⁶ Стр. 141 наст. изд.

⁷ Стр. 147 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 23

Впрочем, и он не мог пойти дальше, *не будучи в состоянии выработать вполне новых воззрений и новых теоретических основ*. Как только дело доходит до общих выводов, он становится нерешительным, сбивчивым, ставит рядом старое и новое и боязливо останавливается на сопоставлениях. Быть может, эта нерешительность только следствие воспитания и гнетущей дисциплины ордена, не допускающей ни единого шага вперед без санкции высшего духовного авторитета»¹.

Мы привели почти все, что Розенбергер говорит о методах иезуитов. Как видит читатель, получилось не так уж много. Характеристики крайне общи и поверхностны. Немецкий историк не потрудился над методологическим анализом хотя бы одного иезуитского произведения. А жаль! Это была бы весьма поучительная операция. Что у Розенбергера верно, так это констатирование «фамильного сходства» в иезуитской продукции по физике. Но самый «фамильный портрет», данный им, совершенно недостаточен и похож скорее на произведение уличного пятиминутного фотографа, чем на приличный снимок. Все дело заключается в отсутствии указаний на специфические черты аристотельянства, получившее огромное развитие у иезуитов.

Основной мотив естественнонаучной методологии Аристотеля, как нам кажется, совершенно справедливо охарактеризован Таннери в докладе на философском конгрессе 1900 г. Французский историк науки указал там, что для перипатетиков характерна «с одной стороны, тенденция примкнуть к явлениям, как они открываются нашим чувствам посредством поверхностного и грубого наблюдения, можно даже сказать, ярко выраженное признание ходячих взглядов, поскольку они не явно ошибочны, с другой стороны, — тенденция возможно скорее подняться в ряду причин, но ограничившись лишь простым анализом понятий, без нового обращения к опыту»². Нам кажется, что эти слова могут служить ключом к пониманию всех характерных черт иезуитской физики XVII столетия. И мы постараемся это показать.

Теоретическая схема работ иезуитов-физиков, в конце концов, очень проста. Они считали, что, исходя из непосредственных опытных данных, нужно как можно скорее подняться по лестнице абстрактных понятий и искать объяснения уже в чистых логических соотношениях этих абстрактных понятий. К формированию подобных абстрактных понятий и сводится, в конце концов, сущность аристотелева учения о форме. Признак, составляющий общее родовое свойство некоторой группы явлений, принимается за особый принцип, особое начало, присутствующее в этих явлениях. Магнетизм, например, есть форма, т. е. особое начало, качество, присущее всем магнитным телам и вызывающее их специфические действия. Задача познания заключается лишь в том, чтобы свести конкретные эмпирически констатируемые процессы к отношениям форм и дать общую схему описания явлений, пользуясь этими отношениями.

¹ Стр. 149 наст. изд.

² Les «principes de la science de la nature chez Aristote» (Memoires scientifiques de P. Tannery, Paris 1925, т. VII, стр. 302).

Подобная теоретическая установка не так уж далека от современных идей «чистого описания», и ревностные защитники последней вроде Дюгема, сознательно обращались к произведениям иезуитов, ища в них теоретического вдохновения. Это объясняет также, почему иезуиты, будучи перипатетиками, должны были поддерживать сенсуализм¹. Настоящим автором афоризма: *nihil est in intellectu quod prius non fuerit in sensu* (нет ничего в сознании, чего не было дотоле в ощущении), приписываемого часто Локку, являлся, ведь, именно Аристотель.

Иезуиты хотели только описывать явления, пользуясь категориями аристотелевой философии. Они строили только такие общие гипотезы, которые с принудительной силой навязывались индуктивно установленными фактами. К своим теориям они предъявляли почти такие же требования, какие выдвигал в недавнее время Оствальд. Против же механических объяснений, претендовавших на объективное отражение структуры реальности, они решительно протестовали, хотя и не всегда в одном и том же духе.

Типичным примером может служить «*Philosophia magnetica*» Кабео. Кабео целиком и полностью стоит на точке зрения метафизики Аристотеля. Магнетизм есть некая форма, которую кусок железа приобретает, будучи помещен в соседстве с магнитом. Исследование действия магнита должно сводиться к установлению характерных условий, в которых проявляется форма магнетизма. Именно магнитное качество (форма) должно служить основанием объяснения всех особенностей действия магнита.

Концепция Кабео является характерной для ранних иезуитских работ. Методологическая скудность ее очевидна. Мольер удачно высмеял такого рода построения. «Опий усыпляет, — рассуждает врач в одной из его комедий, — потому что он имеет усыпительную силу». Магнит притягивает, потому что он имеет магнитную силу. Подобная скучная тавтология не выступает в иезуитских сочинениях слишком явно только потому, что эмпирический материал, ими привлекаемый, скрывает методологическую нищету их принципов. Никаких руководящих идей, направляющих экспериментальную работу по определенному руслу, такая методология не давала и не могла дать. «Фамильное сходство», констатированное Розенбергером в иезуитских произведениях, заключалось, таким образом, в «ползучем эмпиризме».

Теперь, как нам кажется, становится понятным наше утверждение, что Бэкон своим индуктивизмом, в конце концов, разрывал со схоластикой гораздо менее радикально, чем Декарт своим аналитическим методом. Герцен прекрасно выразил это следующей яркой формулой: «схоластическая наука думала, что Кай смертен потому, что человек смертен; Бэкон стал доказывать совсем напротив, что мы в праве сказать: человек смертен, потому Кай смертен»². Реформа Бэкона, таким образом, совершилась внутри силлогизма. Если в связи с этой формулой мы припомним приведенное нами выше утверждение Энгельса, что

¹ Сенсуалистические симпатии иезуитов питались, впрочем, и тем, что их основные противники во Франции — янсенисты — примыкали к рационализму Декарта.

² «Письма об изучении природы». Соч., т. IV, СПб. 1919, стр. 147.

ПРЕДИСЛОВИЕ 25

индукция и дедукция взаимно обуславливают друг друга, то наше утверждение должно показаться не голословным, а, наоборот, весьма обоснованным.

Только что указанная характерная черта естественнонаучной методологии иезуитов была связана и с другими. Все иезуиты платят большую дань антропоморфизму и анимизму. Примером может служить хотя бы Кирхер, занимавшийся теми же явлениями магнетизма, что и Кабео. Кирхер приписывал магниту различные болезни, которые можно лечить. Он утверждал, что магнитный камень не любит чеснока, и поэтому, если натереть его чесноком, он перестанет притягивать другие тела. Далее, Кирхер поучал, что магнит — царь камней, и поэтому, если воздать ему царские почести, т. е. одеть в пурпуровую мантию (просто-напросто, обернуть в красную обертку), он начнет притягивать сильнее и т. д.

Подобные антропоморфизмы были вполне естественны для аристотеликов, ибо самая идея активной формы, играющая такую важную роль в методологии, представляла собою своеобразную модификацию старых-престарых анимистических представлений.

Это понимал еще Лейбниц, писавший по поводу формы следующее: «Аристотель и его последователи называли формою то, что есть принцип действия и находится в том, что действует. Этот внутренний принцип бывает или субстанциальный, именуемый душою, если находится в органическом теле, или случайный, обыкновенно называемый качеством»¹.

Стремясь к тому, чтобы не порвать с прошлыми традициями, иезуиты совершенно естественно захватывали в свои научные построения ряд абсолютно не выдерживающих критики элементов старого миропонимания и, в частности, его антропоморфизм. Широко использованное в последующих иезуитских сочинениях понятие «силы» представляло собою прямого потомка «движущей души», о которой так много говорилось в XVI столетии. Трудно было найти в иезуитских сочинениях понятие более враждебное натурфилософии Галилея и особенно Декарта.

Однако иезуитская физика не оставалась на одном месте. Она эволюционировала. Аристотелевы категории видоизменялись, приспосабливаясь к новым естественнонаучным данным. Мы уже упомянули, что в последующих иезуитских сочинениях появилось понятие «силы» как первоначальной естественной данности. Это понятие, будучи несколько более гибким, постепенно заменяло понятие формы. Конечный этап эволюции можно проследить уже в работах, относящихся к XVIII в. Наибольшую известность из них получила упоминаемая Розенбергером книга Босковича «*Philosophiae naturalis Theoria reducta ad unam legem virium in natural existentium*». Здесь мы видим уже развернутую динамистическую систему, сомкнувшуюся с динамизмом, разработанным протестантскими клерикалами и формально примыкавшую к ньютонианству.

Читатель видит теперь, сколь недостаточна характеристика, давае-

¹ Essais sur la bonte de Dieu et la liberte de l'homme Paris, 1859, стр. 543

мая Розенбергером естественнонаучной продукции иезуитского ордена. Поверхностность ее обнаруживается еще яснее, если мы попробуем проследить какой-либо отдельный случай отношения иезуитов к новым естественнонаучным открытиям. Так как Розенбергер отозвался о Шейнере довольно похвально, назвав его выдающимся ученым, то мы возьмем в качестве примера именно Шейнера и его роль в деле открытия солнечных пятен.

О своих наблюдениях солнечных пятен Шейнер впервые сообщил публично в сочинении «*Rosa Ursina sive sol ex admirando facularum et macularum suarum*», вышедшем в 1619 г. Однако открыл он солнечные пятна значительно раньше и независимо от Галилея. Сам Шейнер утверждает, что он заметил пятна прежде, чем Галилей.

Отцы-иезуиты долго не решались сообщать об открытии своего собрата по ордену, так как оно слишком противоречило Аристотелю. Монтюкла, приводя в своей «*Histoire des mathematiques*» этот факт, передает разговор, будто бы имевший место между Шейнером и провинциалом ордена по поводу открытия. «Я много раз,— сказал провинциал, — читал всего Аристотеля целиком и могу вас заверить, что не нашел в нем ничего подобного. Идите, мой сын, успокойтесь и будьте уверены, что за солнечные пятна вы приняли либо недостатки ваших стекол, либо недостатки ваших глаз»¹. Монтюкла считает, что рассказ об этом разговоре был сочинен кем-нибудь из противников иезуитов. Но как бы то ни было, остается фактом, что Шейнер мог сообщить о своем открытии астроному Вельзеру с разрешения орденского начальства лишь под условием анонимности. Когда же иезуиты решили дать бой Галилею, Шейнер выступил с утверждением, что первенство в открытии солнечных пятен принадлежит ему, а не Галилею. Лишь после этой полемики орденская цензура разрешила опубликовать «*Rosa Ursina*».

Любопытен самый характер полемики Шейнера с Галилеем. Основное стремление иезуитского ученого заключалось в приспособлении фактов к уже готовым воззрениям, существовавшим ранее. Он хотел включить новооткрытые явления в традиционную космологию. Поэтому он выдвинул гипотезу о звездных тучах, вращающихся вокруг солнца и по временам закрывающих его блестящий диск. Обильными риторическими украшениями он пытается добиться хотя бы иллюзии достоверности для своей гипотезы. Галилей же высказался гипотетически за то, что пятна принадлежат самому солнцу, и считал, что для окончательного решения этого вопроса нужно, прежде всего, изучить основательно их положение, форму и движение.

Разумеется, в «*Rosa Ursina*» Шейнер возражает против космологии Коперника. Но и эти возражения тоже носят такой же риторический характер, ибо новейшие астрономические открытия слишком дискредитировали геоцентрическое учение. Декарт прекрасно резюмировал впечатление, получающееся от чтения аргументов Шейнера. «Вся книга Шейнера, — писал он Мерсенну, — ясно свидетельствует, что иезуиты не являются друзьями учения Коперника. Однако возражения этой

¹ Том II, стр. 227.

ПРЕДИСЛОВИЕ 27

книги выдвигают такие доказательства в пользу неподвижности земли, что я не могу не думать, что сам Шейнер в своей душе тоже следует мнению Коперника. Это изумляет меня настолько, что я не могу описать своих чувств»¹. Апологетический характер «*Rosa Ursina*» обнаружен этими строками совершенно ясно.

Мы подробно говорим о произведениях иезуитов лишь потому, что в их лице католицизм единым фронтом наступал на новую науку. Но это не значит, что церковные круги стран, отпавших от Рима, занимали более миролюбивую позицию. Католики сожгли Джордано Бруно и привели на суд инквизиции Галилея в Италии. Кальвинисты сожгли Сервета и преследовали коперниканцев в Швейцарии. Протестанты преследовали Леруа и боролись с картезианизмом в Голландии и т. д. В конце концов, в вопросах отношения к новой науке между католиками и всей антикатолической ересью господствовало трогательное единство. На стороне католиков просто было то преимущество, что они выступали более организованно, и их главная сила — орден Иисуса — была прекрасно дисциплинированным и вышколенным боевым отрядом.

Протестантские церковные круги, как и католические, тоже тащили назад к аристотелевско-схоластической доктрине. В этом отношении характерны, например, тезисы протестантского богослова Гисберта Воэция, бывшего профессором и ректором университета в Утрехте, выставленные им в 1641 г. против Декарта. «Философия, — писал этот громоносный профессор, — которая отвергает субстанциальные формы вещей с их собственными специфическими свойствами, отвергает, следовательно, отличную специфическую натуру вещей..., не может быть соглашена ни с физикой Моисея, ни со всем, чему учит писание. Эта философия опасна, она благоприятна скептицизму, способна разрушить наши верования касательно разумной души, происхождения лиц святой троицы, воплощения Иисуса Христа, первородного греха, чудес, пророчеств, благодати нашего возрождения, действительности демонов» и т. д.².

Идеологическая тенденция этих тезисов целиком совпадает с тенденцией иезуитов и отличается лишь по форме. Иезуиты были умнее. Они хотели бороться с естествознанием его же собственным оружием, в то время как Воэций шел напролом. Впрочем, и сам Воэций понимал, что здесь он, несмотря на весь свой антипапизм, сможет договориться с католиками. Поэтому он и попытался в 1640 г. обратиться к Мерсенну с предложением заключить блок против картезианцев и самого Декарта.

Совершенно так же обстояло дело не только в Голландии, но и в других странах. В этом отношении очень интересна судьба ньютоновых «Математических начал натуральной философии», к изложению которой мы сейчас и перейдем.

Розенбергер совершенно правильно указывает, что сам Ньютон не был ньютонианцем, в том смысле этого слова, какое оно приобрело

¹ «Oeuvres», т. II, стр. 282.

² Цит. по Любимову, «Философия Декарта», стр. 33—34.

впоследствии¹. Взгляды Ньютона разнились от взглядов Декарта (мы имеем в виду лишь вопрос о значении физической теории) не так уж значительно, чтобы их стоило резко противопоставлять. Однако история судила иначе. «Начала» Ньютона были поняты превратно, и в последующей эволюции физики борьба ньютонианцев и картезианцев достигала подчас величайшей остроты. Центральным пунктом, вокруг которого создались все недоразумения, был знаменитый лозунг «*Hypotheses non fingo*», выдвинутый Ньютоном. Мы приведем то место «Начал»; где Ньютон его формулирует. «Тяготение к солнцу, — пишет английский естествоиспытатель, — составляется из тяготения к отдельным частицам его и при удалении от солнца убывает в точности пропорционально квадратам расстояний даже до орбиты Сатурна, что следует из покоя афелиев планет, и даже до крайних афелиев комет, если только эти афелии находятся в покое. Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, *гипотез же я не измышляю*. Все же, что не выводится из явлений, должно называться гипотезой. Гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии. В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются при помощи наведения. Так были изучены непроницаемость, подвижность и напор тел, законы движения и тяготения. Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря»².

В литературе было много споров о том, как следует понимать выписанное место. Нужно ли думать, что Ньютон вообще отказывается от построения каких-либо гипотез и ограничивает задачи физики чисто математическим исследованием, или же его слова нужно понимать в том смысле, что он временно ограничивается математическим описанием, так как не в состоянии в данный момент предложить ни одной рациональной гипотезы о причинах тяготения, а падать он не хочет?

Нам кажется, что эта вторая точка зрения куда ближе к истине, чем первая. И это наше мнение базируется на недвусмысленных заявлениях самого Ньютона.

Не желая перегружать текста цитатами, мы не станем подробно доказывать наше мнение. Однако, одно место из Ньютона, на наш взгляд весьма важное, мы все же приведем. Речь пойдет в нем о молекулярных силах. «Мне кажется, — пишет Ньютон, — ... что частицы (молекулы. С. В.) имеют не только *vis inertiae*, сопровождаемую теми

¹ Надо, впрочем, заметить, что эту правильную точку зрения Розенбергер высказывает с достаточной категоричностью лишь в своей «Истории физики». Но кроме этой работы перу его принадлежит позднее написанная специальная монография о Ньюtone (I. Newton, 1800). В этом весьма основательно сделанном томе Розенбергер не высказывается уже с такой категоричностью, как в «Истории физики», и утверждает, что предисловие Котса ко второму изданию «Начал» мало отличалось от истинной точки зрения самого Ньютона.

² «Матем. начала», перев. А. Крылова, т. II, стр. 591.

ПРЕДИСЛОВИЕ 29

пассивными законами движения, которые естественно получаются от этой силы, но также, что они движутся некоторыми активными началами, каково начало тяготения и начало, вызывающее брожение и сцепление тел. Я не рассматриваю эти начала как таинственные качества, предположительно вытекающие из особых форм вещей, но как общие законы природы, посредством которых образовались самые вещи; истина их ясна нам из явлений, хотя причины до сих пор не открыты. Ибо это — явные качества, и только причины их тайны. Последователи Аристотеля дают названия скрытых качеств не явным качествам, но только таким, которые, как они предполагают, кроются в телах и являются неизвестными причинами явных явлений. Таковы были бы причины тяготения, магнитных и электрических притяжений и брожений, если бы предположили, что эти силы или действия возникают от качеств, нам не известных, которые не могут быть открыты и стать явными. Такие скрытые качества останавливают преуспевание натуральной философии и поэтому отброшены за последние годы. Сказать, что каждый род вещей наделен особым скрытым качеством, при помощи которого он действует и производит явные эффекты, значит, ничего не сказать. Но вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных начал, было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были бы еще открыты. Поэтому я, не сомневаясь, предлагаю принципы движения, указанные выше, имеющие весьма общее значение, и оставляю причины их для дальнейшего исследования»¹.

Ньютон достаточно ясно и недвусмысленно излагает здесь основы своего метода. Руководствуясь этими словами английского естествоиспытателя, можно было бы сразу же решить спор относительно смысла его пресловутого «*hypotheses non fingo*», если бы этому не мешало одно обстоятельство. Мы имеем в виду предисловие Котса ко второму изданию «Начал».

Хотя Ньютон, как видно из приведенной цитаты, не считал силу тяготения первоначальной причиной, а относил ее к разряду проблем, хотя в письмах к Бентлею он не переставал протестовать против приписывания ему такой нелепости, как действие на расстоянии², он все

¹ «Оптика», перевод С. И. Вавилова, Гиз 1927, стр. 311—312.

² «Нельзя представить себе, — писал он, — каким образом неодушевленное грубое вещество могло бы без посредства чего-либо постороннего, которое нематериально, действовать на другое вещество иначе, как при взаимном соприкосновении. А так должно бы быть, если бы тяготение было в смысле Эпикура присуще материи. Вот почему я желал бы, чтобы вы не приписывали мне учение о тяжести, прирожденной материи. Допустить, что тяготение врожденно материи, присуще ей так, что одно тело должно действовать на расстоянии через вакуум на другое без чего-либо постороннего, помощью которого действие и сила от одного тела проводится к другому телу, есть для меня такая нелепость, что, полагаю, в нее не впадет ни один человек, способный к мышлению о философских вещах». Ньютон занимает здесь позицию, совершенно аналогичную той, которую защищал в этом вопросе Декарт. См. письмо последнего к Мерсенну от 20 апреля 1646 г. по поводу работы Роберваля «*Arastarchii Samii de mundo systemata*» («Oeuvres», т. V, стр. 401).

же допустил внесение во второе издание своей книги, как поправок, так и предисловия Котса, защищавшего именно те взгляды, от которых отрекивался.

Трудно объяснить, почему Ньютон допустил такую фальсификацию своих убеждений. Значительная часть документов, относящихся к этому вопросу, утрачена, и нам остается делать только догадки.¹ Факт, однако, остается фактом. Хотя и сохранилось письмо Ньютона, в котором последний определенно заявляет, что не желает видеть предисловия Котса², последнее все же было напечатано. В своей работе о Ньютоне Розенбергер пишет по этому поводу: «Так дожил мир до удивительнейшего зрелища, когда книга, написанная великим, почти семидесятиоднолетним физиком, издается теологами (автор имеет в виду Бентлея. С. В.), а введение, указывающее ее высшие и всеобщие цели, пишется молодым, едва достигшим тридцати лет ученым»³.

Предисловие Котса, во-первых, трактует понятие гипотезы совершенно в духе современного позитивизма, как простое предварение данных опыта с целью наиболее краткого их описания и, во-вторых, рассматривает тяготение как первоначальное свойство тел. Общая цель такой трактовки выражена автором со всей откровенностью: *вне такой трактовки математических начал физики в основание естествознания должен быть положен атеизм*. Избавить ньютоново естествознание от такой предпосылки и было благочестивым намерением Котса.

Мы видим, таким образом, что англиканские теологи, в конце концов, пошли по тому же пути, который намечали иезуиты. Поэтому понятно, что последние попытались использовать динамистическую интерпретацию «Начал» в своих видах. Правда, в «Началах» защищалось осужденная церковью концепция о вращении земли, но иезуиты были бы слишком плохими «кормчими душ», если бы не сумели обойти этот неприятный подводный риф. Тем более что Осиандер в своем предисловии к коперникову «De revolutionibus» указал уже путь для этого⁴. В результате в известном латинском издании «Начал», выпущенном в 1760 г. отцами-иезуитами Лесер и Жакье, было сделано небольшое примечание, что учение о вращении земли остается на совести Ньютона, а сами редакторы издания «следуют постановлениям, изданным верховными первосвященниками против движения земли»⁵.

Мы видим, таким образом, что Ньютон был мало причастен к тому, что называется ньютонианством. Если в последующие эпохи источники динамизма искали главным образом в «Началах» и забывали как об иезуитах, так и о клерикальных кругах всех других вероисповеданий, то это происходило главным образом потому, что «Начала» сыграли

¹ В интересной работе З. А. Цейтлина «Наука и гипотеза». Историко-критическое исследование „Математических начал натуральной философии" в связи с учением о методе естествознания и общественных наук, (Гиз, 1926 г.) собран обширный материал, относящийся к истории этой фальсификации.

² См. Eddelston, „Correspondence of Sir Isaak Newton etc.", London, 1850.

³ Rosenberger, I. Newton, стр. 380.

⁴ Текст этого предисловия читатель может найти в приложении к упомянутой книге З. А. Цейтлина.

⁵ Предисловие к III тому.

ПРЕДИСЛОВИЕ 31

огромную роль в истории науки своим чисто позитивным содержанием. Кроме того, иезуитские построения и, в частности, наиболее развитая их форма, предложенная Босковичем, был затенены Кантом с его гносеологическим обоснованием динамизма. Однако, как показывает простое сравнение, «*Philosophiae Theoria naturalis*» Босковича по результатам своим отличается от «*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaften*» Канта лишь незначительными деталями. Напомним, что сам Кант считал одной из своих важнейших заслуг подведение философского обоснования под ньютоновское естествознание.

В конце II и особенно начале III тома Розенбергер довольно хорошо показывает, к каким результатам привело торжество ньютоновских идей в физике. Именно при обзоре физической методологии этой эпохи у Энгельса и сорвалось гневное восклицание по отношению к Ньютону: «индуктивный осел». Та «игра с силами», которой занимались естествоиспытатели и против которой протестовал сначала Гегель и гегельянцы ¹, а потом Энгельс и диалектические материалисты ², представляла собой лишь результат одностороннего понимания бэконовского индуктивизма, внешнее торжество которого формально подкреплялось огромным научным значением ньютоновых «Начал».

Еще Герцен писал, что «положительные науки имеют свои маленькие привиденьица: это — силы, отвлеченные от действия, свойства, принятые за самый предмет, и вообще разные кумиры, сотворенные из всякого понятия, которое еще не понятно: *exempli gratia* — жизненная сила, теплотвор, электрическая материя и пр.» ³. Все эти «привиденьица» народились именно после торжества ньютоновых «Начал». И они оказались отнюдь не безобидными существами. Вспомним хотя бы судьбу работ Роберта Манера, значение которых не могли понять все, «игравшие с силами» и рассуждавшие о допустимости только самых необходимых гипотез. Когда же представлениям о качественных материях-силах, учением о сохранении и превращении энергии был нанесен сокрушающий удар, ньютоновская традиция привела к созданию формальной энергетики, базирующейся на чисто феноменологической основе. Эта энергетика тоже захотела получить своего Канта. Явились Мах, Оствальд, Дюгем и др. Правда, из всех их вместе взятых Канта не вышло, тем не менее «философская база», хотя и эклектическая, была создана.

Впрочем, мы отвлеклись от XVII в. Вернемся к нему.

Нам осталось сказать несколько слов о Лейбнице, так как то, что говорит о нем Розенбергер, нуждается в поправках.

«Монадология Лейбница, — пишет Розенбергер, — должна была быть исключительно метафизической системой, и едва ли какой-либо

¹ Ср. например, полемику Гегеля с ньютоновцами по вопросу тяжести (*Werke, Jubiläums-Ausg.*, т. IX, стр. 170, и след. Русский пер. Чижева «Философия природы», стр. 105 и сл.), о силе (*loc. cit.*, стр. 168 русск. перев. стр. 103), а также многочисленные выпады против учения о качественных материях вроде теплорода, электрических жидкостей и т. д. во всей «физике обосновавшихся тел» и «физике цельной индивидуальности».

² Ср. в «Предисловии к Анти-Дюрингу» о Гельмгольце и многочисленные реплики в «Диалектике природы».

³ «Письма об изучении природы», соч., т. IV, СПб, стр. 3.

физик когда-нибудь пытался принять ее без изменения за основу своих теоретических начал; тем не менее, она впоследствии оказала некоторое влияние на физику, по крайней мере, косвенно. Декарт исключил из материального мира понятие силы, в смысле первоначально действующей причины движения; Лейбниц же именно в этом последнем понятии признал истинную сущность материи. Физики, в своем затруднительном выборе между Декартом и Ньютоном, приняли с радостью новое представление о стремлении материи к движению, и хотя они не нашли монадологии Лейбница, тем не менее приняли ее охотно как подкрепление ньютоновских идей. Таким образом, к математическому представлению Ньютона о силе присоединилось в качестве желанного союзника метафизическое учение Лейбница.¹

У лиц, не знакомых с историей развития взглядов Лейбница, слова эти могут породить недоразумения. Дело в том, что Лейбниц до середины 80-х годов был в натурфилософии ортодоксальным картезианцем и со всей своей интеллектуальной энергией боролся против метафизики сил и скрытых качеств. Однако в середине 80-х годов он убедился, что последовательное развитие картезианских принципов непосредственно ведет к спинозизму, т. е. атеизму. Это заставило его пересмотреть основы своего мировоззрения. Заявив, что без признания силы в материи нельзя избежать спинозизма, он и приступил к построению здания своей монадологии.

Однако ошибочно думать, что после 80-х годов в своей теории естествознания Лейбниц целиком отказался от картезианских принципов. В метафизике он действительно стал динамистом, но в теории естествознания общая основа его взглядов осталась по-прежнему кинетической и только несколько усложнилась. В этом отношении особенно показательна переписка Лейбница с Кларком по поводу всеобщего тяготения, относящаяся к 1715—1716 гг. и представляющая собою одно из последних важных произведений Лейбница².

«Притяжение тел на расстоянии, — пишет здесь Лейбниц, — без всякого посредствующего фактора столь же сверхъестественно, как и то, что тело движется по окружности, не отклоняясь в сторону по касательной, хотя ничто не препятствует такому отклонению. Ибо все эти явления нельзя объяснить природой вещей»³.

«Это страшная фикция, — продолжает он в следующем письме, — представлять себе всю материю весомой и даже тяготеющей ко всякой другой материи; как будто бы всякое тело притягивало к себе все другие тела соответственно массам и расстояниям, и притом в силу притяжения в собственном смысле, не происходящего ни от какого скрытого толчка этих тел; вместо того чтобы объяснить тяготение чувственных тел к центру земли посредством движения какой-нибудь жидкости. То же самое следует сказать и о других видах тяготения, как, например, о тяготении планет к солнцу или друг к другу. Ни одно тело не двигалось еще естественным образом без того, чтобы другое тело,

¹ Стр. 247 наст. изд. Курсив Розенбергера.

² См. Erdmann, «Recueil de lettres entre Leibniz et Clarke»,

³ Письмо 4. § 45.

ПРЕДИСЛОВИЕ 33

с ним соприкасающееся, предварительно не толкнуло его; после чего оно продолжает двигаться, пока другое тело, опять-таки с ним соприкасающееся, не помешает ему в том. Всякое иное воздействие на тела либо воображаемо, либо относится к области чудесного¹.

Из этих слов с совершенной ясностью видно, что Лейбниц, несмотря на монадологию, в трактовке явлений природы остался картезианцем. Ясно также становится, что Розенбергер в своей оценке Лейбница далеко не выражает истинного положения дела². Розенбергер был введен в заблуждение традиционной квалификацией Лейбница как динамиста, по методу аналогии переносящей метафизику монадологии на теорию науки. На самом деле Лейбниц гораздо сложнее и многограннее, чем это рисуется в популярных учебниках.

Правда, и в поздних произведениях Лейбница можно найти немало утверждений, на первый взгляд формально противоречащих только что выписанным цитатам. Наиболее характерные из них содержатся, пожалуй, в небольшой заметке «Lettre a un ami sur le cartesianisme». «С некоторого времени, — пишет здесь гениальный конкурент Ньютона, — я разошелся с картезианцами ... Ибо, хотя я согласен, что природа в частностях должна быть объясняема механическим образом, все же, кроме притяжения, надо принять в теле первичную силу, которая бы разумно объяснила нам все то, что имеется в формах школ». Но внимательный анализ показывает, что дело здесь идет вовсе не о вульгарном динамизме Котса, а совсем о другом.

Лейбниц старался найти какой-либо принцип, позволяющий отличать тело от пространства. В этом пункте он и разошелся с Декартом, решительно их отождествлявшим. Такой принцип он усмотрел в понятии «масса». Как показал Рессель³, в лейбницевской трактовке материи нужно различать несколько различных моментов: 1) материю как пространство, 2) материю как первоначальную пассивную силу, т. е. субстанцию, способную оказывать сопротивление проникновению других тел, 3) материю, как производную пассивную силу, т. е. субстанцию, обладающую свойством косности, 4) материю как инертную массу и, наконец, 5) материю как активную силу, т. е. ее совокупную кинетическую энергию. Эта трактовка явилась действительно существенным дополнением и развитием картезианской, но, несмотря на наличие в ней страшного для картезианцев слова «сила», она не выводила за пределы кинетического мировоззрения.

Недоразумение может здесь возникнуть только в том случае, если отождествить лейбницево понимание массы с современным. При таком отождествлении нам действительно придется толковать введенное Лейбницем понятие активной силы в динамистическом духе. Между тем,

¹ Письмо 5, § 35. См. также сравнение притяжения с *qualitates occultae* схоластиков в том же письме, § 113; в § 114 того же письма характерное замечание о Бойле: «Бойль прежде всего вдавливал в головы, что в физике все происходит механическим образом. Но в настоящее время люди, к несчастью, отвыкли от разума, им надоел свет».

² Между прочим, ошибку Розенбергера в еще более резкой форме повторяет и З. А. Цейтлин. См. его «Наука и гипотеза», стр. 79.

³ *Russel, La philosophie de Leibniz, Paris, 1908.*

под массой Лейбниц понимал только пассивную сторону физических явлений, только рецептивность материи, а всякую передачу движения, упругость, активное противодействие тела считал необходимым обозначать термином «активная сила», причем исключил из этого понятия всякую возможность действия на расстоянии¹.

Освещение философских вопросов в истории физики Розенбергера вообще не является сильной стороной книги. Во многих случаях немецкий историк пользуется здесь материалом из вторых рук. Особенно сильно дает это себя знать в поверхностной трактовке Лейбница. Роль и влияние этого мыслителя в истории физических теорий гораздо значительнее, чем это представляется по книге Розенбергера.

Поверхностны также высказывания немецкого историка о Канте. Он, например, совершенно не понимает смысла лозунга «назад к Канту»². Кантовский агностицизм и двойная бухгалтерия науки и религии, теоретического и практического разума остаются совершенно вне его поля зрения. Хотя Розенбергер и пользуется книгой кантианца Ланге об истории материализма, он все же не усматривает в ней тех фикционалистических тенденций, которые сделали ее столь популярной в идеалистических кругах. Между тем мы сейчас отлично знаем, что некоторыми своими (историческими корнями современная философия фикционализма (*Philosophie des Als-Ob*), рассматривающая все естествознание как совокупность более или менее «удобных» иллюзий, уходит именно в концепцию Ланге. Реалистические установки Розенбергера при более глубоком знакомстве с кантианской литературой сделали бы его, по всей вероятности, несколько более сдержанным в комплиментах по адресу кенигсбергского мыслителя.

Желая внести бо'льшую ясность в философские проблемы, затрагиваемые Розенбергером, мы сосредоточили свое внимание на описании лишь некоторых моментов методологической борьбы, развертывавшейся в XVII в. В какой мере нам удалось показать существо тех мировоззренческих позиций, которые были сформулированы представителям передовой буржуазной науки XVII в., конечно, судить не нам. Мы, впрочем, и не стремились к тому, чтобы дать законченную картину. И без того предисловие наше слишком разрослось. Попытка дать развернутую марксистскую схему, даже если бы мы не стали подкреплять ее соответствующим анализом документов, привела бы к тому, что текст Розенбергера превратился бы лишь в придаток к предисловию. Поэтому указанием на непонимание Розенбергером природы кантианства мы закончим разбор книги, лежащей перед читателем. В заключение сделаем только одно замечание общего порядка относительно роли механической методологии в физике, а также и устраним некоторые фактические недостатки и недоговоренности книги.

Прогрессивные мыслители, благодаря трудам которых физика XVII в. быстро шагнула вперед, стояли на позициях механической

¹ О лейбницеvской трактовке массы и силы см. изд. Erdmann, стр. 112—113, 122, 124, 463, 466 и изд. Gerhardt, т. VI, стр. 98. Тщательный разбор двойственного значения понятия массы у Лейбница см. Cassirer «Leibnitz system», 1902, Marburg, стр. 333—342 и 515.

² Стр. 333 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 35

методологии. И Галилей, и Декарт, и Ньютон, и Лейбниц, несмотря на все различия между ними, могут быть в совокупности *по своей физической методологии* охарактеризованы как механисты. Самой сильной стороной их механицизма была резкая борьба со схоластикой, представлявшей традиции феодальной науки, феодального мирозерцания, борьба, в общем, сознательно или бессознательно, шедшая либо под флагом материализма, либо содействовавшая торжеству последнего. Пытаясь своими теориями отразить структуру объективной реальности, они пришли к целому ряду новых открытий и установили совершенно новые взгляды на уже известные явления. Разрабатывая именно те вопросы, где односторонность и узость механической методологии дает себя знать менее чем в других областях, механисты смогли быстро похвастаться рядом блестящих успехов. Эти успехи настолько укрепили их позиции, что был предпринят ряд попыток проведения механистической методологии через всю совокупность явлений, служивших объектом научных размышлений. Из этих попыток и родился французский материализм.

Маркс совершенно справедливо указывает, что картезианское, т. е. наиболее последовательное механистическое крыло французского материализма, «непосредственно «сливается с французским естествознанием»¹, и что успехи этого материализма были и успехами естествознания. Но при универсализации механистической методологии она скоро должна была обнаружить свою узость. В результате механицизм пришел к кризису. Из этого кризиса и родился диалектический материализм.

Огромная историческая роль, сыгранная механическим мировоззрением в деле разложения принципиальных устоев феодального мировоззрения, широчайшие перспективы, которые оно открыло для научного исследования, обусловили, однако, то, что по своеобразной исторической инерции механистические принципы и по сие время пользуются кредитом в головах многих естествоиспытателей (преимущественно физиков). В итоге исторически обусловленная форма буржуазного мышления, расцветшая пышным цветком в XVIII в., часто провозглашалась и провозглашается истиной, ее же не преjdeши. Разумеется, оснований для провозглашения такого лозунга нет никаких².

Но если механицизм сыграл в прошлом положительную, прогрессивную роль, то динамизм с его феноменологическими и идеалистическими тенденциями с самого начала выступил как орудие реакции, как орудие примирения науки и религии. Никакой реальной поддержки

¹ Соч., т. III, стр. 154.

² Механика явилась первой формой, в которой строго детерминистическое математическое рассуждение было применено к анализу явлений природы. Поэтому естественно, что на известном историческом отрезке времени она должна была казаться идеальным образцом всякого более или менее заверщенного знания. Поэтому естественно также, что всякую строго детерминистическую, лишенную антропоморфных черт теорию некоторое время квалифицировали как механическую, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Но то, что было исторически закономерно для одной эпохи, является реликтом, пережитком, рудиментом для другой. И это нужно твердо помнить всем искателям абсолютов.

научному мышлению он не оказал. Мы постарались схематически очертить его путь. От аристотелизма иезуитов и теологов всех вероисповеданий, через фальсифицированного Ньютона к Босковичу и Канту — вот его маршрут. Пока буржуазия переживала свой героический период, она боролась с динамизмом весьма решительно. Но бурная молодость прошла, и грехи ее забылись. Дальнейшая судьба динамизма заключалась в развитии из него чистого феноменологического учения. Задачу эту выполнили позднейшие идеологи буржуазии, «одумавшейся» после бурь революций и ставшей «умнее» после трагических шуток Конвента и выступления на сцену рабочего класса. Путь тут лежал через Канта и позитивизм к Маху и другим недавним кумирам. В настоящее время замечается тенденция пойти еще дальше: от слишком «левого» и «радикального» Маха и феноменологии многие ныне живущие теоретики естествознания тянут к Аристотелю и средневековой схоластике.

Теперь перейдем к фактическим дополнениям и поправкам.

Выше уже было отмечено, что Розенбергер совершенно не касается вопроса о связи «научных открытий и теорий XVII в. с развитием промышленности. Связь тут двоякая; во-первых, промышленная техника определяла проблематику физической теории (об этом мы уже говорили), и, во-вторых, она же давала средства для решения научных проблем. В частности можно указать, что, например, улучшение техники выработки стекла открыло возможность решать более сложные оптические задачи и быстро двинуть развитие оптики¹.

Отсутствие указаний на подобные обстоятельства, конечно, большой пробел книги немецкого историка, вытекающий из недостатков его методологической концепции.

Из мелких фактических погрешностей укажем на неверную характеристику Беригарда как перипатетика². На самом деле этот противник Галилея был не перипатетиком, а автором весьма своеобразной качественной атомистики, представлявшей собою попытку синтеза теорий Демокрита и Анаксагора³.

Розенбергер пишет, что обстоятельства, сопровождавшие появление первого издания галилеевых «Discorsi», не выяснены. Это было не совсем верно уже для того времени, когда Розенбергер писал свою книгу, и совсем неверно сейчас. Галилей был в курсе дела, когда готовилось латинское издание его «Диалогов о двух системах», вышедшее анонимно в Голландии в 1635 г., и был согласен на него. Убедившись после выхода этой книги, что дело его находится в руках верных друзей, он начал писать, «Discorsi» и по окончании работы теми же тайными путями через своих друзей отправил рукопись к Эльзевиру, так как после нескольких попыток убедился, что издать свою книгу в католической стране (он обращался в Богемию, Венецию и др.) он не сможет⁴. Вероятно, именно эти обстоятельства, показывающие,

¹ См. об этом *Лебедев*, *Оптика и стекло*, Вологда, 1928, стр. 39—87.

² Стр. 110 наст. изд.

³ См. *Lasswitz*, *Geschichte. d. Atomistik.*, т. I, стр. 490 — 498.

⁴ См. *Olschki*, *Gesch. d. neusp. wiss. Literatur*, т. III, глава о запрещении "Диалогов" о системе мира.

ПРЕДИСЛОВИЕ 37

что Галилей смирился перед инквизицией лишь формально, и послужили основой для рассказа о том, что после инквизиционной пытки Галилей воскликнул «А все-таки вертится!», рассказа, получившего широкую известность благодаря прелестному стихотворению Гейне.

Излагая космологию Декарта, Розенбергер не останавливается на освещении тех обстоятельств, которые заставили Декарта искать компромисса между осужденным коперниканством и ортодоксальным католическим учением¹.

Розенбергер упорно делит философские школы XVII в. на индуктивные и дедуктивные², в то время как речь идет не об индуктивизме и дедуктивизме, а об эмпиризме и рационализме. Здесь еще раз сказывается пробел в философском мировосприятии немецкого историка.

О причинах прекращения переговоров Галилея с Голландскими генеральными штатами относительно проблемы определения долготы Розенбергер не говорит ни слова. Переговоры эти благодаря энергичному посредничеству Гуго Гроция уже приближались к благополучному окончанию, когда инквизиция через своих шпионов узнала об этом. В результате флорентийский генеральный инквизитор, по согласованию дела с Римом, категорически запретил Галилею продолжать какие бы то ни было сношения с Голландией.

Флогистонная теория рассматривается Розенбергером как теория, только препятствовавшая развитию химии³. Это совершенно неверная, хотя и довольно распространенная точка зрения. На самом деле флогистика выполнила прогрессивную роль, так как впервые связала процесс горения и обратного получения вещества, процессы окисления и восстановления. Во флогистонной теории эта мысль получила довольно удачное осуществление при помощи утверждения, что при горении нечто уходит прочь, а при восстановлении возвращается. Затруднения флогистики начались лишь тогда, когда весы завоевали в химической лаборатории полные права гражданства. Но из этих затруднений и родилась современная химия.

Наконец, последнее замечание, «Система Босковича, — пишет Розенбергер, — очень похожа на нашу современную атомистику, вплоть до тех пор, пока последняя не переходит в молекулярную теорию»⁴. Слова эти, а равно и утверждение, что фарадеева теория атомов имеет общую основу с теорией Босковича, кажутся нам вопиющим недоразумением. Материалистическая, исходящая из принципа невозможности дальнего действия теория Фарадея, как небо от земли, разнится от динамистической, проникнутой дальним действием теории Босковича. Вращение атомов, допускаемое атомистикой, тоже никак не может быть примирено с представлением о них как о математических точках.

С. Васильев

¹ См. С. Васильев. К вопросу о происхождении физики Декарта, Изв. АГУ, Вост. Ф., т. IV.

² См. напр. стр. 153—154 наст. изд.

³ Стр. 218—219 наст. изд.

⁴ Стр. 332.

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

В предисловии к первой части предлагаемого сочинения были изложены основы, на которых я считаю необходимым построить историю физики. Я остался верен им и в этой второй части, вследствие чего по этому вопросу считаю себя в праве сослаться на упомянутое предисловие.

Все, вероятно, найдут целесообразным, что в этой части я подробнее прежнего излагаю труды тех физиков, на которых в очень большой степени основывается вся наша современная наука. Точно так же надеюсь не подвергнуться осуждению за более подробное изложение некоторых физических теорий, которые для своего времени имели огромное значение, хотя и утратили его для нашего. Не говоря уже о том, что без знания подобных систем немыслима правильная оценка работы целых столетий, знакомство с ними может принести большую пользу и в другом отношении. Последнюю я не в состоянии сформулировать лучше, чем это сделал в нижеследующих словах Альберт Ланге: «Тот, кто в истории видит непрерывную цепь заблуждений и истин, кто понимает, что «приближение к бесконечно далекой цели совершенного познания осуществляется при посредстве бесчисленного множества ступеней; кто понимает, что самое заблуждение становится источником многообразного и прочного прогресса, — тот не будет слишком спешить со своими заключениями о незыблемости наших гипотез на основании фактических успехов современности. Важнейшим результатом исторического исследования является такого рода академически спокойное отношение, которое, исключая враждебность и увлечения, позволяет видеть в наших теориях и гипотезах то, что они представляют собою в действительности, а именно ступени того бесконечного приближения к истине, которое составляет очевидную цель нашего умственного развития»¹.

Д-р Фердинанд Розенбергер

Преподаватель реальной гимназии.

¹ Lange, Geschichte der Materialismus, 4 Ausg., стр. 502 — 503.

III. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ НОВОГО ВРЕМЕНИ

(приблизительно с 1600 до 1780 г.)

Чем полнее знакомишься с каким-либо естественным рядом явлений, тем труднее указать в нем строго определенные грани. Все естественное не поддается так легко схематизации, в которой человеческий ум, по-видимому, нуждается для ясного понимания. Приходится ли нам приводить в систему ряд объектов природы или же разбивать на периоды историю развития какой-либо отрасли культуры — органическое течение материала всегда противится расчленяющему действию нашего ума. Пишущий историю физики тоже испытывает трудность при ее подразделении, притом возрастающую по мере того, как с приближением к современности для него становятся все яснее связующие звенья прогресса. Пока над океаном забвения поднимаются лишь отдельные научные вершины, их легко признать незыблемыми оплотами в потоке развития. Но когда пробелы начинают заполняться, и волна умственного движения начинает нарастать правильно и постепенно, проходя перед глазами наблюдателя без резких прерывов, — всякое разграничение становится более или менее произвольным и в лучшем случае только приблизительно верным. При этом систематик, имеющий дело с циклом умственного развития, находится еще в сравнительно лучших условиях, чем лицо, систематизирующее естественные процессы. В постепенном прогрессивном развитии последних почти немыслимы отдельные резкие скачки; в истории же культуры деятельность одной гениальной личности нередко заменяет собою работу целого периода и сразу выводит на свет то, что при обычном течении вещей могло бы быть создано лишь за продолжительные периоды времени.

Такой пример представляет *возникновение новой физики*. Правда, целое предшествующее столетие стремилось отыскать твердую почву для этой науки, но до конца XVI в. берег едва был виден в тумане. С началом же XVI в. в физике явился Колумб, указавший путь к искомому материку и сделавший плавание настолько легким и безопасным, что и менее одаренные умы могли уже смело пускаться в море. Поэтому относительно времени возникновения новой физики вряд ли возможно какое-либо сомнение, и если имеется еще некоторое разногласие, то только в том признавать ли Колумбом *Галилея* или *Бэкона*. Но, во-первых, это разногласие мало влияет на установление даты возникновения но-

40 ВВЕДЕНИЕ

вой физики, и, во-вторых, как будет показано ниже, на морях физики искусным кормчим был один лишь Галилей; Бэкон же являлся в лучшем случае систематизатором правил мореплавания.

Однако, если начало новой физики может быть указано сравнительно легко, то, с другой стороны, трудности несоразмерно возрастают при дальнейшем ходе подразделения. Существование периодов неоспоримо и в последующем; изменение областей исследования, а равно и методов тоже происходит вполне явственно; но дело в том, что изменения в науке уже не так легко относить к отдельным личностям или строго определенному времени. В одних случаях движение идет правильно и постепенно, не изменяясь неожиданно под влиянием особо выдающихся умов; в других самым выдающимся умам уже не под силу охватить сразу всю область физики и все ее методы, вследствие чего изменения в различных отраслях науки происходят не одновременно, а в известной постепенности. Но в то же время потребность в правильной систематизации делается все настоятельнее по мере накопления материала. Порою является искушение остановиться на выдающихся внешних событиях и создать искусственную систему, по примеру искусственной системы царств «природы, хотя такое подразделение, весьма удобное для составителя, едва ли способно удовлетворить любознательность читателя. Поэтому мы решились, не считаясь с трудностями, провести *наиболее естественное подразделение физики, принимая одновременно во внимание и состояние человеческого знания в целом.* Насколько удачно нам удалось повсюду провести этот план, мы решать не беремся и охотно допускаем, что со специальной точки зрения математика, философа или экспериментального физика в отдельных случаях можно было бы, вероятно, придти к другим выводам.

В первой части предлагаемого сочинения мы показали, что до XVII в. *в физике были известны только два метода: философский и математический.* Натурфилософия и математика заимствовали свои основы из опыта повседневной жизни, из материала, открытого непосредственному наблюдению. Экспериментального метода, самостоятельно создающего эти основы, в то время еще не существовало. Если в отдельных случаях и производились систематические опыты, то лишь для измерения количественных сторон явлений; некоторые ученые прежнего времени, правда, пробовали исторгнуть у природы ее тайны, но действовали при этом без плана, ощупью; *опытного же исследования явлений, наблюдения в смысле физического метода, не существовало.* Пытаясь объяснить различные явления, физик не сознавал в то же время необходимости точного и всестороннего изучения их и опытной проверки своих гипотез. Экспериментальное исследование еще не проникло в область науки; оно едва успело дойти до его порога и не приобрело еще никакого значения. Ложным положениям не приходилось бояться опытной проверки, так как мир мысли был несравненно утонченнее обыденного материального мира. В те

ВВЕДЕНИЕ 41

времена полное совпадение философской теории с прямым опытом почти роняло ее достоинство, а расхождение между ними никого не смущало. В философии продолжали сохраняться следы платоновского поклонения идее и презрения к материи. *Натурфилософ* считал для себя унижительным работать вне кабинета, наподобие ремесленника, и гордился исключительным витанием в области духа *Математик*, успевший подчинить формуле ничтожную часть физических явлений, в свою очередь не испытывал потребности производить физические опыты и не сознавал той пользы, которую они могли бы принести ему в приложении к математике. Вот почему, хотя в прежнее время опытов производилось немало, и даже опытов весьма искусных, наука стояла как бы в стороне от них. *Введение опытного исследования в область науки* и возведение экспериментального метода на степень общепризнанного научного метода — *заслуга XVII столетия*.

В новом научном методе быстро соединились разрозненные до того ветви физики. *Философия* разрабатывала план объяснения явлений природы и создавала гипотезы, касавшиеся сущности явлений; математика выводила из этих общих начал количественные отношения; *наблюдение* же не только давало первый достоверный материал для философской теории, но и служило лучшим подтверждением гипотез, представляя собою проверку количественных отношений, выведенных математическим путем. Таков, по крайней мере, научный характер физики при *Галилее*. К сожалению, не все оценили эту программу по достоинству, и вскоре начался враждебный распад ветвей, едва соединившихся. Уже в первом периоде новой физики *натурфилософия* в лице *Декарта* начала стремиться к самостоятельности на новых основаниях; но влияние Галилея еще настолько преобладало в среде его учеников, что попытка эта не удалась. Равновесие было нарушено не ранее 1650 г., когда *экспериментальная физика*, в свою очередь, впала в односторонность. Масса новых, неожиданных фактов, главным образом в области воздушного давления, направила внимание ученых исключительно в сторону наблюдения и опыта. *Физики* стали довольствоваться простым изучением явления, не заботясь пока об его объяснении и обращаясь к гипотезам Декарта как к удобному подспорью в тех случаях, когда от них настойчиво требовали разъяснений. *Математики* же частью были не в состоянии овладеть быстро накапливающимся материалом, частью были слишком поглощены разработкой своего великого вспомогательного средства — высшего анализа, чтобы посвящать много сил и времени физике. Этот период первого преобладания экспериментальной физики можно отнести к промежутку времени между 1650 и 1690 гг. Затем наступает реакция. В 1680—1690 гг. *Ньютон* и *Лейбниц* создали высший анализ; *ньютоновская теория тяготения* подчинила математике движения небесных светил; *братья Бернулли*, *Гюйгенс* и другие ученые достигли в области математической физики таких блестящих результатов, что экспериментаторам пришлось отступить на второй план.

42 ВВЕДЕНИЕ

Все выдающиеся умы этого периода обратились к математической физике. *Экспериментальная физика*, разумеется, не могла сойти окончательно с арены; некоторые же отрасли ее даже продолжали быстро развиваться. Зато *натурфилософия* была как бы *стерта с лица земли*. Гипотезы Декарта, не поддающиеся математическому анализу, возбудили в физиках нового направления полное презрение, можно даже сказать ненависть к натурфилософии, разделяемую в большей или меньшей степени и физиками наших дней. *Безусловной пользы для науки в этом видеть нельзя*, так как пренебрежение к натурфилософии стало одной из причин чрезмерного накопления в отдельных областях эмпирического материала, для которого не находили и, быть может, не особенно старались найти объяснения. *Преобладание математики* в физике продолжалось, примерно, до 1747 г. Затем *экспериментальная физика* приобрела новый блеск, благодаря поразительным успехам учения об *электричестве*, до такой степени приковавшего к себе внимание ученого мира, что начало и конец *четвертого периода*, с 1747 до 1780 г., могут быть определены по времени нарастания и ослабления этого интереса.

Итак, отдельные периоды физики в действительности выявляются и характеризуются довольно резко. Только конец последнего периода не может быть указан с полной точностью за отсутствием здесь гениального лица или великого открытия, способных провести резкую черту в истории науки. Если я, тем не менее, заканчиваю историю новой физики 1780 г. и с него предполагаю начать обзор новейшей физики в III части моего сочинения, то поступаю так потому, что общая совокупность факторов, из которых каждый в отдельности и не является решающим, проводит здесь, на мой взгляд, довольно резкую черту. Эту свою точку зрения я надеюсь более подробно обосновать в конце предлагаемой второй части своего труда.

I. ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

(приблизительно с 1600 до 1650 г)

XVII столетие окончательно низложило схоластику во всех областях науки. Старые философы-перипатетики не были, разумеется, уничтожены огнем и мечом; они продолжали существовать в замкнутом кругу под мощной охраной католической церкви и еще в течение долгих лет прочно занимали университетские кафедры, но, в сущности, они уже стояли на пути к вымиранию. Собственных вкладов в науку они уже не были в силах дать, и если в чем-либо проявляли самостоятельность, то лишь в упорном противодействии всему новому; старого же они почти не решались защищать. Хотя эти противники новизны в своей оппозиции не останавливались ни перед какими средствами, но на самом деле они принесли науке больше пользы, чем вреда, так как самые нападки их свидетельствовали о новом духе науки. Производя, например, опыты с падением тел в надежде опровергнуть законы Галилея, или пробуя объяснить барометрические явления независимо от давления воздуха, перипатетики невольно стали признавать за наблюдением значение научного опыта. Коль скоро приверженцы старых взглядов обратились к опытному исследованию, они тем самым признали природу источником физических истин; тем самым натурфилософия, в собственном смысле, была обречена на гибель и встала на путь, который вел непосредственно к новой науке. Тем не менее, победа опытного метода не была бы столь быстрой и полной, если бы к физике не присоединились другие отрасли знания, шедшие в том же направлении. Важнейшими союзниками ее оказались астрономические открытия, сделанные при посредстве зрительной трубы, — открытия исключавшие всякое возражение. Как ни отворачивались на первых порах перипатетики от нового прибора, столь враждебного старым теориям, подрастающее поколение и вся разумная часть человечества восторженно приветствовали это орудие, расширявшее его умственный кругозор. Упорнейшие противники должны были, наконец, смириться перед фактом. Правда, тесная связь между физическими и астрономическими открытиями и озлобление духовенства против новых астрономических теорий усилили опасность борьбы для физиков; сверх того враги нового научного направления приобрели могущественных союзников в лице всесильной инквизиции, с одной стороны, и зачастую в лице испуганных протестантских теологов — с другой, но, так или иначе

44 ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

перевес сил все же остался за физикой. Католической церкви, одержавшей победу над виднейшим представителем науки. Галилеем, пришлось вскоре признать в области науки за опытом авторитет, ей неподвластный; а спустя немного лет в среде самого католического духовенства можно было указать на ревностных экспериментаторов. Церковь, правда, и в последствии сумела удержать за собой право высшего надзора за наукой, не переставая преследовать враждебные ей теории; верно, далее, и то, что духовные лица, подвизавшиеся на поприще физики, долго еще чувствовали на себе гнет церкви, лишь только дело касалось выводов из добытых ими научных результатов; но как бы то ни было, почва для научного исследования, видимо, расчистилась. Коль скоро наблюдение стало свободным, непосредственные выводы, вытекающие из фактов, не могут уже быть уничтожены, по крайней мере, до тех пор, пока не удастся открыть способов господства над человеческой мыслью.

Вдобавок, *новое движение не ограничилось областью физики и астрономии*. В долгий промежуток научной ночи в уме человеческом как бы накопился запас сил, которые при первой возможности заявили о себе, быстро двинув вперед все науки и очищая всюду научную атмосферу от мрака суеверия. *Химия сбросила с себя путы алхимии*. Выдающиеся химики, с *Гельмонтом* и *Боз-Сильвиусом* во главе, восстали против учения о превратимости элементов, объясняя все химические изменения соединением или разложением веществ. Впрочем, как раз химии не удалось еще занять вполне самостоятельного места; она опиралась еще на медицину и своим учением о тождестве всех процессов человеческого тела с химическими как бы старалась удержать, за собой частичку философского камня. В области *зоологии Гарвей* открытием кровообращения разрешил вопрос, который уже давно занимал умы. В *ботанике* внимание исследователей было обращено на органы оплодотворения. Поиски рационального принципа классификации указывают на пробуждение и в данной области чисто научных интересов взамен прежних утилитарных целей.

Математика может гордиться открытием *логарифмов и аналитической геометрии*, но как в первом, так и во втором периоде ее успехи сравнительно медленны. Можно даже сказать, что *по темпу своего развития прикладные науки составляют в это время противоположность математике* — и это по легко понятным причинам. Сильный подъем одной науки привлекает к ней лучшие рабочие силы в ущерб другим отраслям, и наоборот, достижения одной научной области в известном периоде дают средства к быстрейшему развитию в ближайшем времени других наук.

Всего любопытнее в разбираемом периоде *судьба философии*. Низложение схоластики нанесло ей удар, казавшийся, безусловно, смертельным, и сверх того ей пришлось выносить, презрение победителей. Тут-то и проявилась живучесть этой науки. Несмотря

ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ 45

на столь неблагоприятные условия, она не только весьма скоро оправилась, но и достигла нового блеска. Последним она обязана двум гениальным своим представителям: *Бэкону* и *Декарту*. Бэкон произнес надгробную речь схоластике, но только с тем, чтобы очистить почву для нового посева. Убедившись в несостоятельности старой философии, он начал искать новый метод, которому эта наука должна следовать для приобретения прочного положения, и нашел его в *индукции*. Он набросал весь план нового метода, но вследствие медленности, присущей индуктивным операциям, не успел сам довести здание до конца. Подобным же образом, хотя и в другом направлении действовал Декарт. Он тоже начал с ниспровержения всей прежней философии; но, найдя, как ему казалось, прочную основу для всякого знания, принялся тотчас за созидание новой натурфилософии. Признав, что сущность материи заключается в одном протяжении, он из этой основной мысли (правда, при помощи множества других гипотез) пытался воссоздать всю систему природы в одном смелом построении. Возможность объяснить все явления природы при посредстве одного легко понятного свойства материи была слишком заманчива, чтобы не встретить горячего сочувствия, и потому мы увидим, что в последующих периодах наперекор разнообразным препятствиям *картезианские теории продолжают господствовать* даже в области физики. Лишь часть физиков, тяготевшая больше к химической стороне явлений, примкнула к вновь возродившемуся отпрыску старой натурфилософии. Именно, после падения Аристотеля, *Гассенди обратился к старому атомистическому учению* и попытался воскресить его, противопоставив Эпикура с его философией Декарту и его системе. Его примеру последовали в ближайшем времени выдающиеся химики и физики, например Бойль и другие, и с этого времени началось развитие так называемой новой атомистики.

Что касается *физики в тесном смысле слова*, то она на время оставила в стороне вопрос об общих свойствах материи (исключение составляли лишь натурфилософы Бэкон, Декарт и Гассенди). Старая философия так утомила всех спорами о сущности материи, что к этому вопросу уже не возвращались без крайней необходимости. Сущность силы с точки зрения ее действия была впервые и окончательно установлена Галилеем; силы же, как причины он не касался. Подобно Кеплеру, все вообще рассматривали тяжесть как стремление однородных тел к соединению или пробовали объяснить ее магнетизмом. Однако со времени Декарта эти умозрения постепенно прекратились, и после него сила в ее прежнем смысле исчезла из материального мира. По общему убеждению, ни одно тело не могло действовать на другое иначе, как непосредственным толчком, и ни одно тело не могло изменить своего движения без прямого толчка со стороны другого тела. К прежней *статике твердых тел* прибавился только *закон сложения сил* в более ясно осознанной форме; сверх того, галилеевским *законом виртуальных скоростей* был проложен путь для приведе-

46 ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

ния статических отношений к динамическим. Закон виртуальных скоростей послужил, кроме того, для нового определения уже известных *условий равновесия жидких тел*. Никаких других открытий в этой области нельзя отметить. *Статика газообразных тел* приобрела в конце этого периода прочную основу в учении Торричелли о воздушном давлении; но то были лишь слабые начатки, за которыми широкая разработка последовала только в следующем периоде. Зато в этом периоде возникла *динамика* как особая отрасль физики. Галилей исчерпывающим образом разработал *законы движения свободной точки*, движущейся под влиянием постоянной силы; анализ *движения по определенному пути* тоже удался ему при помощи нескольких не доказанных им, но правильных положений. Об изучении *движений связанных систем точек* или твердых тел тогда еще не помышляли; динамика на первых порах отвлекалась от протяжения и массы движущихся тел. Единственное исключение составляло картезианское учение об ударе, но как увидим ниже, исключение далеко не блестящее. В *динамике капельножидких тел* первый шаг представляет *торичеллиев закон истечения*. К *динамике упругих жидких тол* можно было бы, пожалуй, отнести *определение скорости распространения звука* в воздухе, но в данном случае оно имело характер не механического вывода, а чисто экспериментального исследования и потому должно быть отнесено к *акустике*. В последней остается еще отметить открытие первых *законов колебаний струн* и ряд исследований, стоящих в непосредственной связи с этим вопросом. *Оптика* вначале придерживалась прежнего математического пути и достигла очень важных теоретических результатов. Открытие новых оптических инструментов, *зрительной трубы* и *микроскопа*, побуждало к изучению преломления света, и в результате многих изысканий *закон преломления* был найден уже в течение этого периода. В самом начале его *Кеплер* усердно и с успехом работал над изучением свойств *глаза* и его функций. Позднее на первое место выдвинулась *физическая оптика*. Бэкон жалуется еще на пренебрежение к физическому исследованию природы света и на исключительно математическое направление оптики; вскоре, однако, общее внимание было привлечено *учением о цветах*; и хотя качество работ еще не соответствовало их количеству, тем не менее, они выяснили, что *всякое преломление света связано со светорассеянием* (дисперсией). Конец периода ознаменовался одним из важнейших оптических открытий (опубликованным, впрочем, не ранее начала следующего периода), именно *открытием дифракции*, которым наука обязана трудам *Гримальди*. В учении о *теплоте* все еще продолжают гадания о сущности тепла; тем не менее, в этом периоде возникают уже *термоскопы*, из которых после многих напрасных усилий в последующих уже периодах вырабатываются термометры. Учение о *магнетизме* и *электричестве* сделало быстрый шаг вперед в самом начале этого периода, но затем остановилось на одном месте.

ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ 47

Следует, между прочим, заметить, что картезианская теория магнетизма в применении к электричеству продержалась долее всех гипотез французского философа и пала не ранее второй половины XVIII столетия под влиянием ньютоновских идей.

Ни один из предшествующих и последующих периодов не может сравниться с рассматриваемым коротким пятидесятилетним периодом по важности и обилию научных открытий в области физики. Мы хвалимся открытиями нашего времени и гордимся быстрыми успехами в области естествознания; но если пойти на сопоставление, то окажется, что наше время не может выдержать никакого сравнения с рассматриваемым периодом. Правда, наше время достигло в технике, руководимой теоретическими знаниями, результатов неслыханных, изменивших весь строй общественной жизни, и в этом смысле совершило перевороты, о которых раньше нельзя было и помыслить; но оно все же не ниспровергло и не создало нового мировоззрения. Наше столетие пошло непосредственно по стопам предыдущего, и если оно сделало огромные успехи в отдельных отраслях физики, то зато ни на шаг не подвинулось в других, а в некоторых, например в понимании материи и в теории электричества, оно представляет картину очень слабого развития. Первая же половина XVII в., напротив, воздвигла наново труднейшие отделы физики и умственно вывела человека из тесной сферы, открыв глубины небесного пространства и разрушив вместе с тем веру в его первенствующее положение в мире — веру, которая, очевидно, не могла устоять после того, как самая земля была выведена из центра мироздания.

Рассматривая *успехи нашей науки по отдельным национальностям*, приходится в этом периоде отдать безусловное первенство *итальянцам*. Галилей в своей механике впервые дал классический образец правильной систематической разработки физики; его метод, совершенный и выдержанный во всех частях, исчерпывает предмет и тем более заслуживает удивления, что непосредственных предшественников у него не имелось. Ученики и друзья его тоже шли в авангарде науки в течение этого периода. Во времена Галилея Италия достигла своего высшего научного расцвета и с ним начала увядать. Приговор инквизиции над великим астрономом охладил ревностность последователей, и под гнетом враждебной клерикальной власти наука мало-помалу угасла в Италии. На смену ей выступила *Франция*. Французские ученые с восторгом приветствовали открытия Галилея, громче всех восставали против несправедливых нападок на него и наперекор сильному противодействию в собственной стране защищали его работы, а после его осуждения озаботились изданием его сочинений. В *Англии* интерес к науке очень оживился в царствование Елизаветы, но затем религиозно-политические бури великой революции поставили преграды научному исследованию. Впрочем, имена Бэкона и Гильберта обеспечили Англии почетное место в истории наук. *Германия* более всех других государств пострадала от религиозных войн. Требовался геройский дух Кеплера, чтобы в борьбе

48 ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ В ПЕРИОД С 1589 ПО 1609 г.

с нуждой и гонениями среди волнений 30-летней войны совершить то, что он совершил для науки. Кроме Кеплера, среди немцев выделяются два иезуита, Шейнер и Шотт, укрывшиеся в мирной гавани монастыря от военных бурь. Они были ревностными тружениками, желавшими процветания наук для славы своей церкви; но их работы страдают отсутствием самостоятельности и свободного духа исследования. *Северные государства* еще более отстали в научном развитии. Они сосредоточились на астрономии и дали миру знаменитого Тихо-де-Браге; к прочим же отраслям естествознания они обратились только в ближайший период.

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ родился в Пизе 15 февраля ¹ 1564 г. Его отец Винченцо был известным музыкантом, сочинение которого «*Dialoghi della musica antica e nuova*» указывает на близкое знакомство с греческой и римской литературой. Несмотря, однако, «а знатное происхождение самого Винченцо и жены его Джулии, у них не было состояния; и когда вслед за рождением их первенца Галилея, семья начала быстро увеличиваться, воспитание детей сделалось предметом их серьезных забот. Поэтому старшего сына они предназначили для торговли сукном, обещающей непосредственное обеспечение. Это, однако, не помешало родителям, переселившимся во Флоренцию вскоре после рождения Галилея, послать мальчика в латинскую школу. Здесь успехи его в древних языках, логике и диалектике были так поразительны, что отец, несмотря на весьма стесненные обстоятельства, бросил мысль о торговле сукном и остановился на медицине, не исключавшей и материальных выгод для сына.

В 1581 г. Галилей поступил в Пизанский университет и начал с изучения философии. Все тамошние профессора были последователями Аристотеля; пифагорейского учения придерживался лишь один *Яков Маццони*; и к нему-то юноша почувствовал особое влечение. Гигантскими шагами развивались его необыкновенные дарования, наблюдательность, философская проницательность и математические способности. В 1583 г. 19-летним студентом он однажды следил в Пизанском соборе за качанием люстр, висевших на длинных проволоках, и вывел отсюда заключение, измеряя время качания ударами собственного пульса, *что маятники одинаковой длины совершают свои колебания в одинаковый промежуток времени*. Занятия математикой очень рано привели его к самостоятельным математическим работам. Рассказывают, что молодой Галилей, не успевший еще познакомиться с математикой во время посещения латинской школы, попал случайно на математическую лекцию аббата Остилио Риччи; последняя произвела на него такое впечатление, что он немедленно начал заниматься математикой в свободное время. Во всяком случае, он вскоре оказался настолько сведущим в ней, что мог самостоятельно дополнить *теорию центров тяжести твердых тел*; эта первая математическая работа и открыла для него дальнейшие пути. Отец, узнав, что сын относится небрежно к медицинским занятиям, приехал в Пизу весьма озабоченный; но ознакомившись с действительным положением вещей, охотно

¹ *Cantor, Zeitschrift f. Math. u. Physik, XXVIII Jahrg. I Heft, Hist.-lit. Abth, стр. 29.*

разрешил ему посвятить себя математике. Благодаря, той же работе Галилей познакомился с тогдашними математическими знаменитостями и приобрел особое расположение маркиза *Гвидобальдо дель-Монте*¹, известного знатока архимедовой механики.

Первой исходной точкой галилеевой механики было, таким образом, учение Архимеда; с ним же связано исходное положение его статики — доказательство закона рычага. Весьма рано, опять-таки в период студенчества, выяснились и основы динамики Галилея, но на этот раз не в согласии, а в *противоречии с учением* греков. Математические физики древности вообще не делали никаких попыток для разрешения динамических задач, и в динамике неограниченно царил *Аристотель*: его теория движения служила до тех пор единственным объяснением движений земных и небесных. Только в последнем, т. е. XVI столетии, в среде математиков нарастает стремление к динамическим опытам, которыми, бесспорно, и была открыта борьба против перипатетической теории движения.

Из первой части нашего сочинения нам уже известны взгляды *Тартальи*² на линию полета бросаемых тел и работа *Бенедетти*³ и др. по вопросу о скорости свободно падающих тел. Неизвестно, насколько Галилей был знаком с этими работами; но по первым шагам его научного развития ясно, что он признавал противоречия аристотелевской динамики. Так, например, он неаккуратно посещал лекции перипатетиков и постоянно препирался с товарищами, которые дали ему кличку спорщика за постоянные нападки на неограниченно господствовавшее учение.

Мы, к сожалению, не имеем возможности подробнее проследить ход развития Галилея, особенно на первых его ступенях. От первого периода его научных трудов не осталось печатных материалов, так как его денежные средства были недостаточны для покрытия типографских расходов. Первые биографы его Вивиани и Герардини познакомились с ним не ранее 1630 г.; кроме того, почти нет примера, чтобы жизнь научного гения обращала на себя внимание в период его развития. Впрочем, в наше время, когда увеличение литературного материала, посвященного Галилею, свидетельствует о возрождении общего интереса к личности великого ученого, приложено много стараний для выяснения первого периода жизни Галилея: в особенности много успели в этом отношении итальянские ученые.

Маркиз дель-Монте принимал живейшее участие в молодом и многообещающем математике, материальное положение которого так мало соответствовало его дарованиям. Через брата своего кардинала дель-Монте он напрасно хлопотал о назначении Галилея профессором в Болонью, но зато ему удалось обеспечить ему кафедру математики при Пизанском университете с годичным содержанием в 60 скуди. Здесь Галилей в своих лекциях открыто выступил против *Аристотеля*, доказывая сначала теоретически, по примеру Бенедетти, что все тела должны падать с одинаковой скоростью, а затем подкрепляя доводы

¹ Наст. соч. I, История среднев. физики, отдел третий.

² Там же.

³ Там же.

50 ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ НАД БРОСАНИЕМ ТЕЛ

разума прямыми опытами. Для доказательства он бросал камни с наклонной пизанской башни, причем все зрители могли убедиться, что камни достигали земли приблизительно в один и тот же промежуток времени, бросали ли их порознь или связанными вместе. Он и на других телах демонстрировал, что скорость падения отнюдь не пропорциональна весу тел и что стофунтовая бомба едва ли опережает полуфунтовое ядро на ширину ладони при высоте падения в 200 футов. *Несмотря на всю их очевидность, опыты эти не имели желанного результата.* Профессора-перипатетики доверяли больше Аристотелю, чем прямому наблюдению; они либо умышленно не обращали внимания на опыты юного новатора или останавливались на незначительных различиях в скоростях падения, используя их как аргументы в пользу аристотелевской динамики. Слепые приверженцы старины кончили тем, что проводили своего противника свистками; а когда Галилей имел сверх того неосторожность отозваться неодобрительно о землечерпательной машине, изобретенной побочным сыном Козимы I (великого герцога тосканского), счастливому экспериментатору пришлось удалиться из университета добровольно, чтобы не быть удаленным помимо своей воли.

По счастью, маркиз дель-Монте мог вновь выручить его из беды. Галилей получил профессию по математике при венецианском университете в Падуе еще прежде, чем ему предложили отставку по истечении его трехлетнего контракта с пизанским университетом. Отъезд из Пизы был для него легок и не только потому, что он уносил с собою менее 100 фунтов багажа. 26 сентября 1592 г. он прибыл в Падую, но по семейным обстоятельствам не мог начать лекций до 7 декабря того же года,

Падуя оказалась плодотворной почвой для деятельности Галилея. Его лекции постепенно приобрели громкую известность в этом многолюдном университете. Вскоре не стало аудитории, способной вместить всех, желавших его слушать, так как число это доходило до 2000 человек. Он читал о *«Началах» Евклида, «Альмагесте» Птолемея, механических сочинениях Аристотеля, теории планет Пейрбаха.* Официальные лекции читались им по-латыни, а частные — на тосканском наречии. В числе его слушателей были знатнейшие граждане, посещавшие знаменитый университет, а также его позднейшие друзья венецианец *Сагредо* и флорентинец *Сальвиати*, имена которых он увековечил в своих главных работах.

Одновременно с этими лекциями Галилей не переставал заниматься своей новой наукой, динамикой. Он не только старался доказать, что все тела *падают с одинаковой скоростью*, но и исследовал *свойства движения при падении тел.* Он нашел, что движение это *равномерно-ускоренное*, и в 1602 г. определил длину пути в течение первой секунды. Наряду с этими вопросами он обратил внимание и на другие отрасли физики, двигая их более или менее вперед. Еще в Пизе, изучая Архимеда, Галилей устроил безмен, *bilanzetta*, для определения металлических сплавов по принципу альгазеновых весов¹ с подвижной

¹ Ч. 1, Ист. среднев. физики, отдел первый.

ГАЛИЛЕЙ В ПАДУЕ. ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕРМОМЕТРА 51

чашкой. При своих лекциях в период около 1597 г. он употреблял тот вид термометров, изобретение которых впоследствии приписывали Дреббелю¹ и др. Доказательством изобретения этого прибора Галилеем в указанный период времени служит не только свидетельство Вивиани (его ученика), но и достоверный факт демонстрирования этого прибора патеру Кастелли в 1603 г. самим Галилеем; сверх того Сагредо в одном письме упоминает, что при своих опытах в Венеции он пользуется прибором своего учителя; наконец, в пользу этого говорит и то обстоятельство, что не только во Флоренции, но и в Падуе хранятся термометры работы Галилея. Галилеевский термометр состоял вначале из открытой стеклянной трубки с припаянным шариком. Шарик слегка нагревали, затем опрокидывали трубку в стакан с водой. При охлаждении шарика вода поднималась по трубке и в дальнейшем высотой своего уровня указывала на изменение температуры и до известной степени на ее величину. Позднее погружение в стакан было оставлено: в вертикально стоящую трубку с шариком, обращенным вниз, вводили каплю воды, которая, поднимаясь и опускаясь, указывала на увеличение или уменьшение тепла. Утверждать по примеру некоторых, что идея этого прибора была внушена Галилею изучением Герона, нельзя, потому что в сочинениях Галилея нет ни малейшего намека на этот счет. Что касается самого прибора, то назвать его *термометром* было бы неправильно, так как на него влияет не только температура, но и воздушное давление; в лучшем случае его можно признать *термоскопом*. Тем не менее, в нем нельзя не видеть первой попытки устройства термометра, надлежащая форма которого была достигнута через сто слишком лет. Другое изобретение Галилея, *пропорциональный циркуль*, тоже относящееся ко времени его пребывания в Падуе, приблизительно к 1597 г., не имеет отношения к физике. Оно, однако, сильно способствовало известности Галилея вследствие спора, возникшего по этому поводу. Противник Галилея *Бальтазар Капра* хотел присвоить себе честь этого изобретения, но был уличен в полнейшем невежестве и предан осмеянию, а его трактат был публично осужден и запрещен.

Контракт Галилея с Падуанским университетом истек в 1599 г.; но Венецианская республика продлила его еще на шесть лет и в знак признания особых заслуг своего профессора увеличила его денежный оклад. Галилей был таким образом обеспечен и пользовался сравнительным покоем до времени своих великих астрономических открытий и оставления университета, столь благоволившего к нему. Мы проследим позднее дальнейшие события его жизни; теперь же обратимся к более подробному обзору его заслуг в области физики.

Первое место количественно и качественно здесь занимают его механические работы. Механика составляла главнейший предмет занятий Галилея в течение всей его жизни; ей посвящено его первое и последнее творение. Правда, открытия в механике не принесли ему при

¹ Дреббель обнарудовал свое изобретение в 1604 г. (Burskhardt, Poggendorf. Ann., CXXXIII, стр. 681). Историю дреббелевского мифа излагает Wohwill; см. Poggendorf. Ann., CXXIV, стр. 163.

52 РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ ГАЛИЛЕЯ

жизни столь громкой известности, как астрономические, распространившие с поразительной быстротой славу гениального ученого по всему тогдашнему цивилизованному миру, зато они и не навлекли на него жестоких гонений. Между тем, для знатока они всего яснее свидетельствуют о гениальности своего творца и на них, главным образом, основываются права Галилея на титул основателя новой физики. *Много причин побуждают или даже заставляют нас здесь же рассмотреть в общей их связи все его механические работы*, несмотря на то, что сочинения его, являющиеся наиболее зрелым и полным выражением механики Галилея, появились не ранее 1638 г. До 1610 г., когда ему пришлось отказаться от университетского преподавания, Галилей излагал свои взгляды с кафедры. Они имели решительное влияние, в смысле потрясения авторитета Аристотеля, уже в то время, т. е. еще до своего появления в печати, и мы совершенно неправильно понимали бы историю развития физики, если бы приняли 1638 г. за начало влияния Галилея. Нам, правда, неизвестно, насколько систематически была разработана механика Галилея в первый период его деятельности, но многое заставляет думать, что основные положения были им уже открыты и излагались в его лекциях в Падуе. В своем сочинении о деятельности Галилея в Падуе ¹ Фаваро утверждает, что между 1602 и 1609 гг. Галилеем была уже найдена параболическая форма линии полета тел. Если это так, то уже около этого времени следует считать новую науку разработанной в основных ее чертах; мало того, один трактат, о котором мы будем говорить ниже, заставляет отнести некоторые основные положения Галилея к еще более раннему времени. *Деятельность Галилея сосредоточивалась преимущественно на механике именно в первом периоде, и высшая сила его творчества в этой области проявилась тогда же*. Позднее его время и внимание поглощали главным образом астрономические занятия; и только после того, как инквизиция парализовала его деятельность в этом последнем направлении, он использовал досуг для более полного и систематического изложения добытых им ранее результатов.

Главный труд Галилея по механике носит заглавие: *«Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, attenenti alla mechanica ed ai movimenti locali, di Galileo Galileo Linceo, Filosofo e Mutematico primario del serenissimo Gran Duca di Toscana»* и был напечатан в первый раз Эльзевирами в Лейдене в 1638 г. Трактат, написанный несколько ранее и появившийся первоначально во французском переводе Мерсенна ² и только в 1649 г., после смерти Галилея, — на итальянском языке под заглавием *«Della scienza meccanica»*, имеет менее важное значение. По своему содержанию эта работа относится преимущественно к статике, и главным предметом исследования здесь служит равновесие так называемых простых машин, рычага, наклонной плоскости, клина, блока и винта. Здесь характерно только соединение статики с динамикой: законы равновесия выводятся из одного положения, которое служит простейшим выражением закона вир-

¹ Galileo Galilei e lo studio di Padova, Флоренция, 1883.

² Les mecaniques de Galilee. Париж, 1634.

СОЧИНЕНИЯ ГАЛИЛЕЯ ПО МЕХАНИКЕ 53

туальных скоростей. Впрочем, закон этот применялся Галилеем уже гораздо раньше. Так, в трактате *«Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono»*, 1612 г., он старается защитить *гидростатические положения Архимеда* и доказать их при помощи виртуальных скоростей. Здесь он уже дает определение *момента силы*, понятия, к которому он во многих случаях обращается в своем главном сочинении при определении действия силы.

Если уже отсюда можно заключить о раннем вступлении Галилея на новый путь в механике, то еще убедительнее в этом отношении последнее его сочинение, чисто механическое по содержанию: *«Sermones do motu gravium»*. Это сочинение было впервые опубликовано в большом флорентийском издании сочинений Галилея в 1854 г., после того как Либри и другие ¹ указали на их историческое значение. Дело в том, что хотя *«Sermones»* должны быть отнесены ко времени пребывания Галилея в Падуе или даже к 1588 г., в них изложены основные законы движения, учение об изохронности качаний маятника, о свободном падении тел по отвесной и наклонной линии и т. д. 50 лет спустя Галилей формулировал главнейшие положения динамики по-латыни в своих *«Discorsi»*, в большей части своей написанных на итальянском языке ², причем оказывается, что они почти слово в слово заимствованы из *«Sermones»* и, стало быть, красноречиво свидетельствуют о раннем происхождении галилеевской механики ³. Кроме приведенных нами четырех сочинений чисто механического содержания, для оценки механики Галилея имеет большое значение его знаменитое астрономическое сочинение: *«Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo»*, а также многочисленные письма, собранные впервые с надлежащей полнотой в издании 1854 г.

Механика древних распадается на две совершенно отдельные ветви: *на статику, трактуемую чисто математически, и на динамику, трактуемую чисто философски*. В первой из них высшей точки достиг Архимед; его закон рычага, определения центра тяжести и теорема о потере веса тел в жидкостях составляли в разбираемом нами периоде основное содержание математической механики. Арабы и христианские механики средних веков не прибавили к древнему учению ничего существенного, за исключением способов более точного и полного определения удельного веса и нескольких исследований касательно центра тяжести. Они продолжали работать в рамках, указанных механикой Архимеда, не выходя из этих рамок нигде, если не считать нескольких разрозненных и незначущих попыток. *Динамика того времени была всецело связана с именем Аристотеля*. Во всех университетах не

¹ Histooire des sciences en Italie. IV. 179.

² В «Discorsi» беседа между тремя лицами: Сальвиати, Сагредо и Симпличио происходит по-итальянски; только во второй части книги, касающейся динамики, положения, служащие темой беседы, написаны на латинском языке.

³ Favaro (Galileo Galilei e lo studio di Partova, Флоренция, 1883) высказывается против столь раннего происхождения «Механики» Галилея и считает даже рассказ Вивiani об опытах в Пизе неверным. Он относит развитие механического учения Галилея ко времени пребывания в Падуе, между 1602—1609 гг., во всяком случае, однако, к первому периоду его научной деятельности.

54 СКОРОСТЬ ПАДЕНИЯ НЕ ЗАВИСИТ ОТ МАССЫ

только преподавалось учение о тяжести и легкости тел, о совершенном и несовершенном, естественном и насильственном движении без малейшего отступления от аристотелевского текста, но это учение послужило основанием целого мирозерцания, которого нельзя было подвергать сомнению, не рискуя поплатиться за это, как за преступление революционного характера.

Галилей принялся изучать Архимеда с серьезной математической подготовкой и благодаря своей работе над центрами тяжести познакомился, как мы уже знаем, с маркизом дель-Монте, наиболее выдающимся механиком того времени. Но молодой студент был не только математиком; он изучал философов, в особенности Аристотеля, в подлиннике; он сам говорит, что философии посвятил больше дней своей жизни, чем часов — математике. *Натурфилософия Аристотеля приводит Галилея к динамике, но он тотчас же вступает в противоречие с нею.* Положение, что скорости свободно падающих тел пропорциональны их весу, еще ранее возбудило сомнение Бенедетти и др. *Галилей приводит новые основания в доказательство внутренних противоречий аристотелевского учения о движении.* Если правильно, что более тяжелое тело падает скорее менее тяжелого, то при соединении двух тел тяжелое должно ускорять падение легкого, и наоборот, легкое — замедлять падение тяжелого. Скорость соединенных тел должна быть, следовательно, средней. Но, с другой стороны, согласно аристотелевскому закону падения, вся масса, соединенная вместе, должна иметь большую скорость, чем более тяжелое из тел, что противоречит первому положению. Далее Аристотель утверждает, что скорость тела в различных средах обратно пропорциональна плотности сред. Если это так, то скорость тела при бесконечной разреженности среды или в пустом пространстве должна быть бесконечно большой, что опять-таки немислимо.

Однако таким путем нельзя было одержать решительной победы над Аристотелем; это показал опыт предшественников Галилея. Против приведенных выше доводов можно было с точки зрения перипатетиков возразить, что пустого пространства вообще не существует и что о падении тел в последнем *вообще* не может быть речи; в заполненном же пространстве части должны, очевидно, падать медленнее целого тела — доказательство чему дает тело, измельченное в порошок. Поэтому Галилей и не ограничился такого рода доводами, а прибегнул к наиболее естественному и при всем том наиболее трудно осуществимому средству — к точному систематическому наблюдению явлений. *Но, как ты уже знаем, даже опыты бросания тел с наклонной Пизанской башни оказались бессильными поколебать скрепленные веками предрассудки.* Перипатетики сосредоточили свое внимание на незначительных различиях скоростей падающих тел и на малой величине пройденного пути, утверждая, что неравенство скоростей падения может стать вполне очевидным лишь при прохождении телами многих тысяч футов. Таких длинных путей падения нельзя было осуществить, и Галилею пришлось придумывать новые доказательства. Он *обратился к открытой им изохронности качаний маятника.* Маятники одинаковой длины имеют колебания одинаковой продолжительности, все равно, сделаны ли они из дерева, камня или из металла большего или

ГИПОТЕЗА О ЗАКОНЕ ПРИРАЩЕНИЯ СКОРОСТИ 55

меньшего веса. Но так как движение маятника сводится к падению тяжелого тела по дуге круга, то отсюда следует, что сила тяжести в одинаковой степени ускоряет эти падающие тела, и мы, стало быть, имеем право вывести обратное заключение, что если отвлечься от *сопротивления воздуха*, то все тела при свободном падении должны иметь одинаковую скорость. *Галилей производил опыты и с катанием различных тел по наклонным плоскостям* и нашел в них подтверждение своей мысли о равномерном ускорении всех тел силой тяжести.

Опыты с маятниками и с наклонными плоскостями во многих отношениях лучше подходили для решения вопроса, чем простое падение тел с высоты, а сверх того они были доступны каждому. К сожалению, доказательность их страдает от видоизменения действия тяжести внешними препятствиями. Для устранения последнего недостатка следовало бы определить в точности свойства этих видоизменений, но подобное определение требовало *целой теории движения, новой механической науки, динамики*. Построение этой науки было в высшей степени затруднительно. Натурфилософские основания не годились для этой цели, так как предметом рассуждения были опытные явления, требовавшие, прежде всего математического определения. Чисто математическое построение тоже не могло помочь делу, так как без гипотетической основы математика не могла найти точки опоры для непрерывно изменяющихся величин движения. Оставалось одно: *соединить вместе все три метода физики и из свободного от логических противоречий положения о природе движения математически вывести законы последнего, а затем посредством опыта убедиться, следует ли природа на самом деле этим законам и подтверждается ли таким образом основная гипотеза*. Решение этой задачи не только количественно обогатило физику прибавлением новой области, но и впервые на примере указало физикам правильный метод их науки. Уже одна эта заслуга дает Галилею полное право на титул основателя новой физики.

Итак, дело сводилось к отысканию *наиболее достоверной и свободной от противоречий гипотезы*, из которой могли бы быть выведены законы движения тел при падении их с высоты. Простейший опыт показывает, что все тела падают с постоянно увеличивающейся скоростью, и перипатетики этого не оспаривали. Но спрашивается, каков закон этого ускорения, каким образом увеличивается скорость с течением времени? Галилей отвергает гипотезу пропорциональности скорости и пройденного пути, доказывая, что при этом условии немыслимо никакое движение. Он полагает, что все тела должны падать простейшим образом, так как все естественные движения являются в то же время в своем роде наиболее простыми. *При падении камня «а землю простейшим видом увеличения его скорости было бы ускорение, сообщаемое ему в каждое мгновение одинаковым образом, т. е. такое, при котором увеличение скорости было бы одинаково в равные промежутки времени*. Галилей приписывает это равномерное ускорение постоянному по своей величине импульсу к движению, постоянной силе, но не распространяется подробнее о причине действия силы — предмете, о котором в его время существовали весьма различные мнения. Вопрос, почему тела стремятся падать по направлению к зем-

56 ДОПОЛНЕНИЕ ЗАКОНА ИНЕРЦИИ. СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ

ному центру, тоже не имеет отношения к настоящей проблеме. Достаточно принять, что постоянная сила равномерно ускоряет движение всех падающих тел, а затем исследовать свойства этого движения и посредством опытов убедиться, что движение падающих тел действительно имеет все предполагаемые свойства.

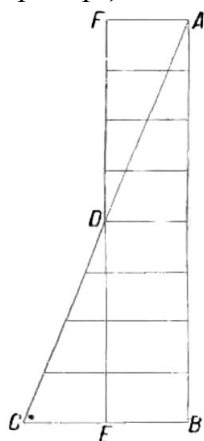
Для решения своей задачи Галилею пришлось радикально перестроить все учение о движении. Прежние натурфилософы применяли по отношению к механике метафизический закон: «нет действия без причины», лишь наполовину: *ни одно тело не переходит из состояния покоя в состояние движения без действия какой-либо силы*. Они предполагали, что всякое движение может прекратиться и без внешнего препятствия, само собой угаснуть, как свет, которому недостает питания, если какая-либо сила не будет поддерживать движения. Галилей видел односторонность, присущую такому толкованию закона инерции; он заметил, что прекращение всех земных движений, протекающих без поддерживающей силы, может произойти только от препятствий, встречаемых земными движениями в сопротивлении воздуха и других явлениях, и дополнил механическое истолкование упомянутого метафизического закона следующим образом: *ни одно тело не может изменить своей скорости ни по величине, ни по направлению без действия какой-либо силы*. Только после такого пополнения закона инерции можно было, по его мнению, приступить к изучению движения. Если тело, хотя бы короткое время, находилось под действием какой-либо силы, то оно и по прекращении ее действия должно двигаться далее с постоянной скоростью. *Такое движение называется равномерным и характеризуется тем, что тело проходит при нем равные пути в равные промежутки времени*. Если же тело находится под длительным действием силы, то оно в каждое мгновение получает новый импульс к движению, следовательно, его скорость должна постепенно нарастать — *движение должно быть ускоренным*. Для определения того, каким образом происходит ускорение от постоянной силы, необходим закон сложения скоростей, сообщенных телу силой в каждое мгновение. Найти этот новый закон было очень трудно. Исходя из вероятного предположения, что постоянная сила должна производить одинаковые действия, т. е. равномерное увеличение скорости, Галилей пришел к заключению, что *прибавление новой скорости к уже существующей является простым сложением и что, следовательно, постоянная сила сообщает телу в равные промежутки времени одинаковые скорости независимо от того, находится ли тело в покое или в движении*.

Итак, если падающему телу в первый момент его падения сообщен импульс и, следовательно, некоторая скорость, то скорость эта остается ему присущей навсегда, если его движение не будет нарушено посторонними влияниями. Во второй момент времени телу сообщается второй импульс, равный первому, и этот импульс по закону сложения сил ускоряет его настолько же, насколько он увеличил бы скорость покоящегося тела; другими словами, скорость, сообщенная в первый момент времени, должна во второй момент удвоиться. Продолжая рассуждать таким образом, мы приходим к заключению, что всякая постоянная сила в равные времена увеличивает скорость на

РАВНОМЕРНО-УСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ 57

равную величину, и что, следовательно, *постоянная сила вызывает равномерно-ускоренное движение*. А так как, обратно, из допущения равномерного ускорения мы вправе вывести заключение о постоянстве движущей силы, то гипотеза равномерно-ускоренного падения вполне совмещается с гипотезой постоянной силы тяжести и может быть выведена из последней. Следовательно, исходя из той или другой гипотезы мы получаем для падения тел первый закон: *скорости в каждый момент времени относятся между собою, как времена, протекающие от начала движения*. Прямая опытная проверка этого закона невозможна, так как скорости изменяются с каждым мгновением и не поддаются измерению. Необходимо, следовательно, найти дальнейшие законы для равномерно-ускоренного движения.

Предположим для этой цели, по примеру Галилея, что величина определенного промежутка времени выражена линией AB , и восставим в конечной точке B перпендикуляр, длина которого BC будет обозначать скорость, приобретенную в конце данного промежутка времени. В таком случае всякий перпендикуляр, восставленный из любой точки линии AB до AC , будет выражением скорости, приобретенной, согласно первому закону падения, телом в данной точке. Если, далее, через точку D , лежащую посередине AC , мы проведем линию, параллельную AB , и замкнем линией AF прямоугольник $ABEF$, то понятно, что сумма всех возможных перпендикуляров в треугольнике ABC будет равна сумме всех возможных перпендикуляров в параллелограмме $ABEF$. Но так как эти перпендикуляры представляют собою скорости, то последнее положение может быть выражено еще следующим образом: *сумма всех скоростей, приобретенных свободно падающим телом в течение времени AB , равна сумме всех скоростей равномерно движущегося в течение того же времени тела, скорость которого равна половине конечной скорости падающего тела*. Отсюда Галилей выводит заключение, что оба тела проходят одинаковые пространства, и формулирует второй закон равномерно-ускоренного движения при падении тел следующим образом: *время, за которое падающее тело, считая от начала движения, проходит известный путь, равно времени, в течение которого оно прошло бы тот же путь, двигаясь равномерно со скоростью, равной половине скорости, приобретенной в конце падения*. При равномерном же движении пройденные пути относятся между собой как произведения из времен на скорости; отсюда пути, пройденные падающим телом до двух известных моментов времени, будут относиться между собою как произведения из протекших времен на половины конечных скоростей или, что одно и то же, как произведения из протекших времен на конечные скорости. Но так как, согласно первому закону, скорости сами пропорциональны временам, то отсюда прямо вытекает важнейший из законов падения: *пути, пройденные падающими телами, пропорциональны квадратам времен*.

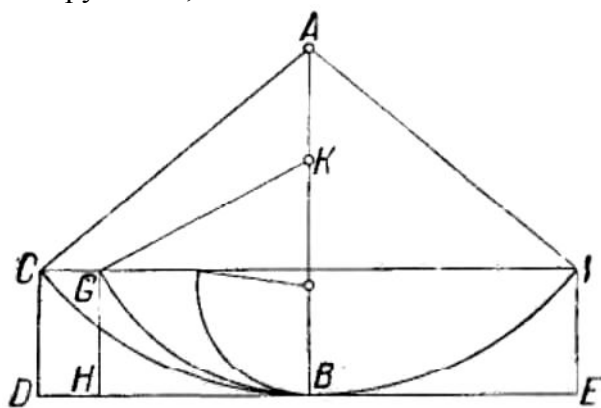


Черт. 1.

58 ПАДЕНИЕ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Если от начала движения взять последовательно одинаковые промежутки времени, то пространства, пройденные до конечных моментов этих промежутков, будут относиться между собою как квадраты натурального ряда чисел. При вычитании же мы далее получаем: пространства, пройденные в последовательные равные промежутки времени, относятся между собою, как ряд нечетных чисел.

Такова теория свободного падения при условии равномерно-ускоренного движения или постоянной силы. Теперь остается рассмотреть, соответствует ли этой теории в действительности свободное падение. Для проверки особенно пригоден третий закон: пройденные пути пропорциональны квадратам времени. Но и тут быстрое нарастание скоростей оказалось помехой как для определения отношений, так и, главным образом, для определения абсолютных величин движения; более удовлетворительных результатов можно было ожидать от движений, замедленных по известным законам. *Это побудило Галилея обратиться к теории наклонной плоскости.* Тяжесть есть стремление тел к центру земли,



Черт. 2.

отсюда действие тяжести при различных движениях должно быть одинаково, если оно приблизит тело к центру земли на одинаковую величину, все равно, какими бы различными путями ни шло это приближение. С другой стороны, действие силы измеряется скоростью, сообщенной телу. Отсюда следует, что два тела, упавшие с одинаковой высоты, все равно какими путями, должны приобрести одинаковые скорости. В приложении к наклонной плоскости это выражается так: *тело при падении по наклонной плоскости приобретает ту же скорость, какую оно приобрело бы, падая с высоты наклонной плоскости в отвесном направлении.* Положение это, касающееся далеко не простых отношений, недостаточно убедительно без дальнейших доказательств. Галилей пришел к счастливой, хотя и довольно отдаленной мысли привлечь на помощь движение маятника. Если маятнику AB , привешенному к точке A , сообщить размах с высоты CD над горизонтом, то отпущенный маятник поднимется на другой стороне на высоту IE , равную первой высоте CD . Если затем вбить гвоздь в точке K по той же отвесной линии AB и поднять чечевицу маятника до высоты GH , соответствующей высоте CD , причем нитка огибает гвоздь, вбитый в K , то окажется, что маятник, будучи выпущен из рук описывает совершенно тот же путь BI на другой стороне, где не встречается препятствия в гвозде. Приобретенная в точке B скорость должна быть, следовательно, одинаковой при прохождении путей CB и GB и будет вообще одна и та же во всех случаях, когда тело будет падать с высоты CD . Но так как дугу можно представить себе составленной из прямых линий, то этот закон будет верен и для наклонной плоскости, а затем и для всякой кривой линии.

Итак, к наклонной плоскости применим следующий закон: *скорости тел, падающих естественным движением по плоскостям с любым на-*

ПАДЕНИЕ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ 59

клоном, всегда равны на одинаковых уровнях над горизонтом, если устранены препятствия. Возьмем два тела, из которых одно снижается по наклонной плоскости, другое же падает с высоты ее отвесно вниз на горизонтальную линию, и сопоставим с ними два других тела, двигающихся равномерно с половинной конечной скоростью первых; окажется, что вторые тела пройдут одинаковые пути в одинаковые времена с первыми. При равномерном же движении пройденные пути, как известно, пропорциональны временам, и наоборот: отсюда вторые, а, следовательно, и первые тела окончат свои движения в периоды времени, относящиеся между собой, как длина наклонной плоскости относится к ее высоте. Так как, далее, при равных временах величина действующей силы измеряется сообщенными скоростями, и наоборот, при равных скоростях силы обратно пропорциональны временам, в которые сообщены скорости, то отсюда следует непосредственно, что *момент тяжести¹ на наклонной плоскости относится к моменту свободной тяжести, как высота наклонной плоскости к ее длине.*

Таким образом Галилей получил возможность полностью объяснить движение тел при падении. Он взял доску в 12 локтей длины и $1\frac{1}{2}$ локтя ширины с желобом шириной в палец, выстланным пергаментом для уменьшения трения. Один конец этой плоскости был приподнят на один или же два локтя вышины, чтобы сделать движение медленным и сопротивление воздуха незначительным. Время измерялось по количеству воды, вытекавшей из большого сосуда в меньший; падающими телами были бронзовые шарики. При помощи опытов с такой наклонной плоскостью Галилей мог проверить и доказать правильность всех законов, выведенных им для движения, и сверх того получил возможность определить пути, пройденные свободно падающими телами, при помощи расстояний, отмеченных на наклонной плоскости, так как его последним исследованием было определено, в каком отношении должно замедляться движение по наклонной плоскости.

При помощи своей теории свободного падения Галилей правильно разрешил старинную проблему наклонной плоскости; но этот способ решения, по-видимому, не удовлетворял его самого. *И действительно, принятие одинаковых скоростей для равных высот падения не представляется строго обязательным*, а привлечение довольно сложных движений маятника не является вполне убедительным. Поэтому Галилей попытался вывести свой закон уменьшения действия силы на наклонной плоскости еще и другим путем.

Бенедетти² в своем сочинении 1587 г. показал, что в косом рычаге моменты тяжести определяются перпендикуляром, опущенным из точки вращения на направление силы. Это правило, по-видимому, вошло в общее употребление при построении составляющих сил, и *Галилей применил этот вид разложения сил к наклонной плоскости.* Он

¹ Моментом Галилей вообще называет величину силы, действующей при данных условиях. В сочинении «*Delia scionza messanica*» он говорит: момент есть стремление опускаться вниз, слагающееся из тяжести, положения тела и других условий, вызывающих такую наклонность.

² Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

60 ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ МАЯТНИКА

показал, что здесь разложение сил соответствует проектированию силы на направление возможного движения. Что же касается отношения, в каком сокращается участок отвесной линии при его проектировании на направление наклонной плоскости, то оно равно отношению длины последней к ее высоте; отсюда вновь вытекает прежний закон отношения моментов свободной тяжести и тяжести на наклонной плоскости. Впрочем, последнее доказательство вряд ли убедительнее первого. Правда, разложение действия силы опирается на *закон параллелограмма сил*, указанный еще Стевином и умело примененный Галилеем; но точного доказательства этого закона мы здесь не находим; он играет у Галилея роль аксиомы или общеизвестного факта и, таким образом, остается в его механике недоказанным элементом, требующим последующего более точного его обоснования.

Мы еще вернемся к этому вопросу при анализе движения падающих тел. Теперь же нам хотелось бы привести здесь немногие галилеевские законы качания маятника. Закон равной продолжительности качания маятников равной длины был им выведен путем непосредственного наблюдения и положен в основу учения о движении в качестве исходного начала. Дальнейшие опыты показали Галилею, что время качания маятников неодинаковой длины изменяется соответственно длине маятников, и его теория свободного падения легко навела его на законы этого изменения. По закону падения, пройденные пути пропорциональны квадратам времен, и обратно, *времена пропорциональны квадратным корням из пройденных путей*. Закон этот верен для всех движений, произведенных одной и той же постоянной силой, следовательно, для отвесного падения и для падения по плоскостям одинакового наклона, равно как для падения по параллельным и подобным дугам. Стало быть, он *верен и для маятников разной длины, имеющих одинаковый угол размаха; время качаний будет и для них пропорционально квадратным корням из описанных ими дуг*. Подобные же дуги прямо пропорциональны своим радиусам, из чего следует (прежде всего, для одинаковых углов размаха, а затем и вообще, так как продолжительность качания не зависит от угла размаха), что *периоды качаний маятников различной длины пропорциональны квадратным корням из их длин*. Этим законом Галилей достиг одного из рубежей своей механики; формулы для непосредственного вычисления времени качания по длине маятника он дать не мог; переход же от простого (математического) маятника к сложному (физическому) ему вовсе не удался. Он полагал даже, что физические маятники не могут быть изохронными, так как они не в состоянии подняться на высоту своего первого размаха. Ибо, если к одной нитке привесить два шарика на разной высоте, то в то время, как нижний еще не успеет окончить своего качания, верхний уже будет находиться на обратном пути и таким образом станет препятствием для достижения первоначальной высоты первым шариком.

Сын Галилея, Винченцо, уверяет ¹, что его отец открыл закон маятника уже в 1583 г. в Пизе и при помощи этого закона определил

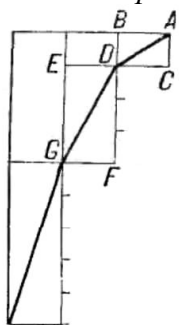
¹ Poggendorff, Geschichte der Physik, стр. 239.

ТРАЕКТОРИЯ БРОШЕННЫХ ТЕЛ 61

высоту собора. Этот же Винченцо устроил, между прочим, первые часы с маятником по мысли и под руководством своего отца. Мы вернемся еще к этому вопросу, когда будем говорить о Гюйгенсе.

Сложение движений было разобрано Галилеем всего полнее и яснее при исследовании линии полета брошенных тел. Предположим, что тело движется в горизонтальном направлении вследствие сообщенного ему толчка; ясно, что если бы на него не влияла сила, тяжести, оно продолжало бы свое горизонтальное движение с равномерной скоростью. Предположим, далее, что в результате этой равномерной скорости тело за известное время пробегает горизонтальное пространство AB , а с другой стороны, представим себе, что за тот же самый период времени сила тяжести должна была отклонить это тело на расстояние AC в отвесном направлении книзу. В таком случае тело под влиянием указанных двух факторов должно будет двигаться по диагонали прямоугольника, определяемого линиями AB и AC , при условии, что избранная единица времени будет настолько мала, что скорость падения может в течение ее измениться лишь на бесконечно малую величину. В следующую за первой единицу времени тело из конечной точки диагонали D вследствие одной горизонтальной скорости продвинется на расстояние $DE=AB$, а от действия силы тяжести отклонится вниз на отвесное расстояние DF , которое будет втрое больше первого расстояния AC ; тело будет, следовательно, перемещаться под влиянием обоих движений по диагонали параллелограмма $DGEF$. Продолжая рассуждать таким образом, мы для линии полета получим кривую, абсциссы которой пропорциональны квадратам ординат. *Следовательно, при горизонтальном бросании линия полета будет полупараболой, ось которой направлена к центру земли.* Для наклонного бросания Галилей определяет линию полета тела тоже как параболу и устанавливает для разных углов бросания таблицу дальности полета. Он оставляет при этом без внимания сопротивление воздуха, но признает, что последнее должно значительно видоизменить линию полета. В одном письме к неизвестному адресату от 12 ноября 1609 г. им показаны даже линии полета при различном наклоне в виде кривых, которые все, достигая одинаковой высоты, опускаются несимметрично и именно в нисходящих ветвях гораздо круче, чем в восходящих, что и соответствует действительности¹.

Вслед за движением брошенных тел Галилей в приложении к «Discorsi», изданном после его смерти, разобрал также учение об ударе тел. Он находит, что *сила удара зависит от веса и скорости движущегося тела*, определить же точнее природу этой зависимости



Черт. 3.

¹ Для вычерчивания параболы Галилей предлагает два способа: либо катить шар по гладкой наклонной плоскости, причем шар опишет параболу, либо подвесить тонкую цепочку за оба конца, и тогда последняя примет форму параболы. В последнем случае Галилей смешивает параболу с цепной линией.

62 ПРЕДЕЛЫ ГАЛИЛЕЕВОЙ МЕХАНИКИ

он не был в состоянии. Затем он пытается сравнить в разных случаях силы давления и удара, но не может найти опорных точек для их сравнения и признает только, что давление в сравнении с ударом должно быть признано бесконечно малым, так как действие тела складывается из его веса и скорости; скорость же при давлении равна нулю. Отнюдь не следует удивляться, если определение удара Галилею не удастся. При разрешении этих вопросов он уже далеко вышел за пределы своей динамики. Не имея ни предшественников, ни сотрудников, он первый установил точные законы движения; благодаря сделанному им дополнению к закону инерции он правильно определил свойства равномерного движения; его объяснение сложения скоростей привело к точному описанию движения под действием постоянной силы и дало ему возможность полностью разработать теорию равномерно-ускоренного движения. Но выйти за эти пределы, не оставляя пробелов в развитии своих положений, не мог в то время даже гений, подобный Галилею. Во всех случаях, где дело касается сложения нескольких движений, или движений при определенных статических условиях, или, наконец, движений по предписанным путям, он оставляет своим преемникам вполне надежные выводы. Но как мог бы он найти законы удара, где приходится иметь дело с чрезвычайно сложными компенсациями многих движений и с движениями отдельных, различным образом связанных между собою частей тела?

Тем не менее, *Галилей отважился сделать еще один шаг в области молекулярной механики*, и гений этого человека и здесь привел к нескольким положительным результатам.

«Discorsi» разделены на отдельные дни: *законы падения изложены в третьем и четвертом дне*; далее следуют в виде приложения теоремы о центрах тяжести, ранее найденные автором. *Пятый и шестой день прибавлены уже после смерти Галилея*; из них пятый посвящен учению о пропорциях, а шестой — учению об ударе. Динамика является второй из новых наук, обещанных в заглавии книги. Первая же наука рассматривается в *первый и второй день: она представляет собой учение о твердости тел*. Галилей начинает с указания, что механические машины различных размеров, построенные по одному и тому же плану, не соответствуют по своей прочности своим размерам. Это заставляет его изучить *зависимость прочности тел от их размеров и вообще причину твердости тел*. Сцепление в волокнистых телах он объясняет тем, что отдельные волокна сплетаются между собой, как в веревках, и образуют как бы нераздельную массу; к телам же неволокнистым, каковы металлы и камни, такое объяснение не приложимо. Сцепление, с другой стороны, не может обуславливаться присутствием какого-либо клея, потому что последний не выдержал бы высокой температуры. Не находя удовлетворительного объяснения явлению, Галилей вынужден помириться на этот раз со своим исконным противником Аристотелем. По мнению Аристотеля, при разрыве тел между частицами должно хоть на кратчайшее мгновение образоваться пустое пространство, природа же не терпит пустоты и потому противодействует распаданию тел. Галилей допускает такое толкование и развивает его дальше. Крепость тел различна,

ПРОЧНОСТЬ ТЕЛ. HORROR VACUI 63

однако не вследствие различной «боязни пустоты», а вследствие различия пор внутри тел. *Чем больше пустых пространств внутри тела, тем сильнее стремление природы наполнить их веществом, тем крепче тело.* Поры не могут быть большими, иначе в них проникал бы воздух; значит, здесь идет речь о бесконечно большом числе бесконечно малых промежутков, величина и количество которых недоступны нашему измерению.

При помощи этой теории Галилей объясняет многое. Жидкими являются тела, у которых поры заполнены и, следовательно, частицы не сближены между собой силой «боязни пустоты» (*horror vacui*). Когда мы нагреваем тело, тепловое вещество проникает в его поры, и по мере того, как последние заполняются им, тело становится жидким, оно плавится. При охлаждении тела тепловое вещество улетучивается из пор; *horror vacui* вновь стремится заменить их новым веществом, и тело снова делается твердым. Нельзя не заметить, что *horror vacui* у Галилея уклоняется от первоначального аристотелевского понятия: это не безграничное сопротивление природы, но вполне определенная сила, величину которой математик Галилей должен измерить. С этой целью он берет запаянную на одном конце стеклянную трубку, которая с другого конца закрывается подвижным поршнем, и через отверстие последнего наполняет трубку водой; затем закрывает отверстие в поршне и опрокидывает трубку. Груз, способный вытянуть поршень из трубы, а следовательно, образовать в ней пустое пространство, представляет собою величину *honoris vacui* для данной поверхности поршня. Степень боязни пустоты может быть, кроме того, определена водяными насосами. Галилей заметил, что вода во всасывающем насосе не поднимается выше 18 локтей; если трубка насоса выше, то водяной столб разрывается от собственной тяжести,— *horror vacui* имеет, следовательно, величину, способную уравновесить водяной столб в 18 локтей.

Если взглянуть на последние исследования Галилея с теперешней научной точки зрения, они могут показаться непонятными заблуждениями и даже вызвать усмешку, конечно, вполне неуместную. В самом деле, современная нам теория твердости тел основана на молекулярных силах вещества, о которых в то время едва ли кто-нибудь мог помышлять и которые даже для нас не вполне выяснены. Теория сплетения волокон или оклеивания частиц, разумеется, не решала вопроса, а лишь несколько отодвигала его, но по своей удобопонятности, находила приверженцев еще долго после Галилея. Боязнь пустоты — понятие немыслимое для механики; но те пределы, которые для нее установил Галилей, позволяют думать, что он применял старый термин для выражения совершенно определенного проявления силы, не находя для последней никакого вполне удовлетворительного объяснения. Тем более что стоит лишь заменить *horror vacui* давлением воздуха, и объяснение плотности тел последним становится в самом деле заманчивым. Такая теория была в большом ходу, и после Галилея; она могла быть устранена не скоро, даже после появления воздушного насоса.

После этих общих рассуждений Галилей переходит к определению *прочности брусев*, рассматривая, прежде всего их сопротивление из-

64 О ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛАХ

лому. Если брус укреплен одним концом в стене, то его крепость может быть определена по закону рычага. По длине бруса, как на плечо рычага, действует собственная тяжесть наподобие привешенного груза. Она стремится сломать брус, т. е. отделить одно поперечное сечение от другого; но этому противится крепость бруса, и последняя действует на плечо рычага, равное высоте бруса. Невзирая на неполное соответствие этих предположений действительности, — именно, здесь не принято в расчет растяжение и сжатие некоторой части продольных волокон перед изломом, — Галилей выводит из них несколько верных законов. Он доказывает, что крепость, или прочность, возрастает в меньшей степени, чем величина тела; что для всех тел существует предел возможной величины, при которой собственная тяжесть превзойдет их крепость; что полые трубы при одинаковом весе крепче сплошных цилиндров и т. д.

В заключительной главе первой части нашей «Истории физики» было отмечено, что в лице Галилея гармонически сочетались философия, математика и экспериментальное искусство. Из сказанного же до сих пор может показаться, что такого равновесия в действительности не было и что искусство экспериментатора не может выдержать сравнения с другими талантами Галилея, возбуждающими наше удивление. Во всех случаях он стремится дать своим законам философское обоснование и строго математическую форму; такое стремление резко оказывается, например, в учении о свободном падении и в учении о твердости тел. Опытное исследование является у него повсюду как бы средством проверки ранее выведенных законов, а не существенным элементом развития научных положений. В действительности это, однако, не так. Правда, Галилей не был чистым экспериментатором, способным довольствоваться приобретением ценного материала; правда, он считал разработку наблюдений высшей задачей ученого, но достаточным доказательством того, что способность наблюдать была в нем столь же гениальна, как и философско-математическое творчество, могут служить, например, его опыты с маятником и многие замечания относительно твердости тел. Еще убедительнее следующий факт. Мы уже знаем, что в сочинении *«Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua»* Галилей старается найти новые доказательства для архимедовых законов плавания тел. Он представляет себе жидкость, в которую погружено тело, заключенной в сосуде, и затем сравнивает давление погруженного тела с давлением воды, поднимаемой телом. Заключение жидкости в сосуд не упрощает задачи и не дает новых способов для ее решения; но для дальнейшего развития учения оно имело большое значение. Именно, Галилей в целях вышеуказанного сравнения принимает *произведения масс на скорости равными для погруженного тела и для жидкости*, чем впервые дает общее применение закона *виртуальных скоростей*, хотя и в простейшей его форме. Рядом с защитой Архимеда Галилей особое внимание уделял опровержению Аристотеля в той же области. Последователи Аристотеля ставили плавание тела в непосредственную зависимость от его формы, причем всякое тело могло бы, по их мнению, плавать, если бы ему была придана форма тонких пластинок. Таким образом объясняли

СЦЕПЛЕНИЕ ВОДЯНЫХ ЧАСТИЦ 65

они, например, плавание льда, который в качестве сгущенной воды считали тяжелее самой воды. Галилей прямо опровергает такое воззрение и доказывает, что *плавание тела зависит только от его удельного веса*. Тело, которое плавает в жидкости в какой-нибудь одной форме, будет плавать и при всякой другой, форма влияет только на скорость, с которой тело погружается в данной жидкости или поднимается на ее поверхность. Лед, всегда плавающий на воде, должен быть, поэтому легче воды. Пластинки из вещества, которые по удельному весу тяжелее воды, способны, правда, оставаться на ее поверхности, но при этом условии они не вполне погружены и лежат в углублении водной поверхности, тем более глубоком, чем тяжелее тело. Если же погрузить такие пластинки в глубь воды, то они останутся на дне и кверху уже не поднимутся, между тем как деревянные пластинки будут всплывать при всяких условиях.

Растворением соли в воде можно настолько увеличить удельный вес последней, что лежащий на дне восковой шарик поднимется на ее поверхность. Прибавляя в раствор воды, можно снова уменьшить его удельный вес и заставить восковой шарик опуститься на дно. Эти опыты очень удобны для доказательства зависимости плавания тел от удельного веса; кроме того, из них, по мнению Галилея, можно заключить, что между водяными частицами не существует сцепления, как в твердых телах. Правда, при этом он сам указывает на противоречащий этому положению факт, — на то, что капли воды долго не расплываются ни плоских поверхностях, например на капустных листьях; но замечает, что капли эти расплываются мгновенно, если окружить их другой жидкостью, например красным вином. Отсюда он делает тот вывод, что частицы водяной капли держатся слитно не вследствие внутренней связи, но лишь благодаря сопротивлению окружающего воздуха. Между водой и воздухом, по его мнению, существует вообще какой-то антагонизм. Если стеклянный шар с тонкой узкой шейкой наполнить водой и опрокинуть, то из него не вытекает ни капли воды и в шар не проникает ни единый пузырек воздуха; стоит, однако, погрузить шейку шара в красное вино, которое гораздо тяжелее воздуха и немногим легче воды, как из шара тотчас же начинает вытекать вода, вино же поднимается вверх по шару красными полосками.

Физические работы Галилея, не принадлежащие к области механики, рассеяны в разных его сочинениях, преимущественно в «*Discorsi*» и «*Беседах о двух системах вселенной*». Несмотря на афористическое по форме изложение, они имели огромное влияние на последующих физиков. Много времени после Галилея целое поколение занималось почти исключительно вопросами, уже затронутыми в его сочинениях и частью поставленными им самим, частью же взятыми им от других при обзоре существовавших тогда областей науки.

Галилей занялся, между прочим, старыми *исследованиями о зависимости высоты тона от длины струи*, причем нашел, что высота тона зависит от числа колебаний, производимых звучащим телом в единицу времени; число колебаний в октаве в два раза, в квинте в $\frac{3}{2}$, а в кварте в $\frac{4}{3}$ раза больше числа колебаний основного тона. Благодаря

66 АКУСТИКА. СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ. СКОРОСТЬ СВЕТА

этому закону неуловимый физиологический момент высоты тона заменяется математически определенным числом колебаний, и акустика впервые становится доступной физическому исследованию. Считаем нужным заметить по этому поводу, что книга Мерсенна *«Harmonie universelle»*, которая признана первым научным сочинением в этой области, появилась в 1636 г., стало быть, за два года до галилеевских *«Discorsi»*, где изложены его акустические исследования. Нельзя, однако, предполагать, чтобы учитель в данном случае следовал за учеником. Мерсенн находился в постоянном общении с Галилеем и издал его механику во французском переводе задолго до ее появления на итальянском языке. Отсюда мы в праве видеть в указанном порядке выхода в свет обоих сочинений доказательство, что работы Галилея задолго до их появления в печати были известны Мерсенну; дальнейшим доказательством может служить и то, что исследование колебаний струн у Мерсенна гораздо полнее и носит характер подробной разработки закона, установленного Галилеем. Последний нашел, между прочим, интересное подтверждение своего закона *численных отношений тонов* благодаря простому случаю. Именно, очищая медную пластинку железным рашпилем, он по временам слышал резкие тоны и при этом каждый раз замечал на пластинке параллельные царапины. Точные измерения последних показали ему, что расстояния между ними для различных звуковых интервалов представляют всем известные гармонические отношения. Он проделал ряд аналогичных весьма интересных опытов над звучащими стаканами и нашел, что в стакане, до половины наполненном водой, который он заставлял звучать ударами пальца, образуются концентрические, кругообразные возвышения и углубления; круги эти не изменялись, пока он извлекал один и тот же тон, но удваивались, когда тон случайно переходил в октаву. *Здесь Галилей впервые наблюдал стоячие волны:* но, разумеется, он не мог назвать их этим именем и придать явлению, которое ему первому удалось наблюдать, должного значения. *Физиологическая сторона акустики* тоже не была оставлена им без внимания. По его мнению, наш слух воспринимает легко сочетание тонов, имеющих простые числовые отношения колебаний; звуки же со сложными отношениями тяготят ухо. В этом факте он ищет причину созвучий и диссонансов.

Оптических исследований, несмотря на гениальное применение им зрительной трубы, мы у Галилея почти не находим, так как рассеянные заметки его о выпуклых зеркалах не имеют большого значения. Замечательно только, что *Галилей считает скорость распространения света конечной*. Впрочем, его предложение измерить эту скорость при помощи световых сигналов из пункта наблюдения, расположенных приблизительно в трех итальянских милях друг от друга, свидетельствует о том, что он не имел правильного представления об этом предмете.

Большее значение имеют работы Галилея по *магнетизму*, при которых он пользовался указанным ниже сочинением Гильберта. Он *объясняет усиление действия естественного магнита при наличии арматуры*, причем обращает внимание на то, что якорь может соприка-

МАГНЕТИЗМ. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ ГАЛИЛЕЯ 67

саться с арматурой в гораздо большем числе точек и гораздо плотнее, чем с самим магнитом. Он указывает на магнит (в беседах о системах вселенной) как например тел, имеющих одновременно несколько движений, а именно, прямо к земле (при падении), и в направлении магнитного склонения и наклонения; свободный магнит, по его мнению, был бы, пожалуй, способен и к вращению около оси. Это странное мнение высказывалось в то время многими для объяснения вращения планет. По свидетельству Кастелли (его ученика) Галилей занимался с успехом изготовлением искусственных магнитов и однажды получил магнит, способный при собственном весе в 6 унций поднимать 15 фунтов.

Первый период научной деятельности Галилея был, как мы уже говорили, почти исключительно посвящен физике; и борьба, которую он вел с натурфилософией и главным образом теориями Аристотеля, происходила на почве физики. Но и в области астрономии он успел уже в это время оставить старую точку зрения. В 1597 г. в письме к Кеплеру, приславшему ему свой *«Prodromus»*, Галилей сообщает, что разработал много доводов в пользу коперниковой системы и в опровержение существующих против нее возражений, но пока не решается их публиковать ввиду насмешек и гонений, которыми осыпают творца этой системы. Но когда в 1604 г. в созвездии Змееносца появилась новая звезда, он воспользовался случаем поколебать одну из главнейших опор птолемеевой системы мира, именно учение Аристотеля о неизбылемости и неизменяемости небосвода. Звезда эта была видна не более 18 месяцев; одни принимали ее за световое явление в низших областях неба, другие — за давнишнее светило, ускользавшее до сих пор от внимания. Галилей утверждал, что это настоящая звезда, никем до того не виданная, лежащая далеко за сферой планет, относительно которых даже (перипатетики допускали некоторые неправильности. Перипатетики реагировали на это нападение еще живее, чем на опровержение аристотелевского закона падения тел. Лекциями Галилея о новой звезде начинаются его первые споры с *Капрой* (Capra) и двумя профессорами перипатетиками *Кремонино* и *Коломбо*.

Знаменитый лейб-медик английской королевы Елизаветы, *ВИЛЬЯМ ГИЛЬБЕРТ* (1540—1603) был первым ученым, написавшим вполне научное сочинение о магните. Он первый создал полную теорию магнитных явлений и таким образом включил учение о магнетизме в число физических дисциплин. До сих пор, по справедливому замечанию самого Гильберта, к притяжению магнита и янтаря прибегали лишь в тех случаях, «когда мысль наша блуждала во тьме праздных умозрений и разум не мог найти выхода». Сочинение Гильберта, появившееся на закате его дней под заглавием: *«De magnete, magnetisque corporibus et de magno magnete tellure physioiogia nova»* (Лондон, 1600), по самой форме уже отличается от всех физических трактатов XVI в. В нем нет и следа общепринятой перипатетической натурфилософии, презрения к непосредственному наблюдению природы и преклонения перед авторитетами; напротив, оно всецело опирается на опытное исследование и свидетельствует о необыкновенном искусстве автора в приложении экспериментального метода к изучению совершенно новых естественных явлений. *Гильберт — физик нового направления; в своей*

68 ЗЕМЛЯ КАК МАГНИТ. ИСКУССТВЕННЫЕ МАГНИТЫ

более узкой сфере он соперничает с Галилеем и не уступает ему в экспериментальном искусстве, хотя и не может сравниться с ним по гениальности истолкования добытых результатов.

Мы уже знаем, что англичанин Норман¹ перенес точку притяжения магнита с неба, куда ее помещали прежде, во внутренность земли. Гильберт пошел дальше: он принимает всю землю за магнит и в подтверждение своей мысли доказывает, что намагниченный железный шар действует на магнитную стрелку совершенно так же, как земля. Он предполагает, что *астрономические полюсы совпадают с магнитными*, но при этом отклонение магнитного меридиана от астрономического он объясняет тем, что вода не обладает магнитным притяжением и что указанное отклонение происходит вследствие неравномерного распределения суши.

По этой теории выходит, что отклонение стрелки в открытом океане, на равном расстоянии от берегов, должно быть равно нулю, и Гильберт, естественно, придерживался такого мнения. Но впоследствии, когда у берегов Бразилии было замечено отклонение стрелки не в сторону земли, а в противоположную сторону, и еще более, после того, как стала известна изменчивость отклонения стрелки в одних и тех же местах, теория совпадения астрономических и магнитных полюсов была оставлена. Вместе с тем Гильберту пришлось отказаться от одного проекта, основанного на этой теории. С тех пор, как началось плавание по открытому океану, все сильнее и сильнее чувствовалась потребность обладать верным и простым средством для определения географических широт. На материке для этой цели руководились наибольшей и наименьшей высотой солнца в данном месте, а Тихо впервые стал пользоваться двумя высотами полярной звезды в меридиане. Но эти способы не могли служить для определения географической широты на море; поэтому Гильберт предложил определить географическую широту по наклонению магнитной стрелки.

Уже со времени Порты² было известно, что, проводя магнитом по куску стали, можно последнюю превратить в магнит. Гильберт же, в соответствии со своей теорией, показал, что *сталь может намагнититься и вследствие влияния земли*. Он заметил, что железные проволоки намагничиваются, если они протянуты в направлении с севера на юг, и даже если просто лежат некоторое время в направлении магнитного меридиана; кроме того, он еще точнее установил, что в железном бруске, который лежит в направлении стрелки инклинатора, магнитные свойства оказываются сильнее, чем при вертикальном или горизонтальном положении.

Помимо теории земного магнетизма, у Гильберта встречается *много новых специальных познаний, касающихся естественных и искусственных магнитов*. Он первый стал при своих опытах *подвешивать магнитную иглу на нитке*. Он же нашел, что магнит притягивает чистое железо сильнее, чем железную руду, и предотвратил ослабление магнита, и даже увеличил его силу, погружая магнит в же-

¹ Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

² Там же

МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛ 69

лезные опилки или же прикладывая к нему железный брусок или второй магнит (первые следы якоря). Действие естественных магнитов он первый усилил *арматурой*, состоявшей из широкой стальной ленты, охватывающей магнит и проходящей через оба полюса. Мнение Порты (который полагал, что магнит притягивает только у своих полюсов) пришлось видоизменить, так как из опытов Гильберта выяснилось, что *магнит притягивает во всех точках своей поверхности и что у полюсов эта сила является наибольшей*. Полюсы же он определял при помощи маленькой стальной иголки, которой проводили вдоль магнита и которая принимала вертикальное положение у полюсов. Далее, Гильберт показал, что магнит, разбитый на куски, образует множество мелких магнитов, что два магнита или магнит и кусок железа, плавающие на воде в легких челноках, приближаются друг к другу с одинаковой скоростью; что сильный магнит способен переменить полюса у более слабого; что сильный магнит способен действовать сквозь железо и другие тела и что сквозь железную проволоку он притягивает с большего расстояния, нежели просто через воздух. Невзирая на все это, у *Гильберта нет еще ясного представления о магнитной индукции* и точных сведений о различии между мягким и твердым железом по отношению к магниту, хотя он и предписывает брать для намагничивания иголки из лучшей стали. Для образования искусственных магнитных игл посредством натирания кусков стали магнитом он предписывает те же правила, как и Порты, но советует держать при этом иглу на север и — странным образом — предостерегает от повторного натирания, так как при этом полюсы будто бы изменяются. По всей вероятности, он при своих опытах водил магнитом взад и вперед, не отнимая от намагничиваемой стали.

Исследования магнетизма привели Гильберта и к *электрическим явлениям*. До него знали только, что *янтарь* и неизвестный нам *линкурион* при трении способны притягивать легкие тела; он первый стал исследовать, не обладают ли тем же свойством и другие вещества, и сделался, таким образом, в еще более строгом смысле, родоначальником новой отрасли физики. Такое притяжение он признал вначале за новую особую силу природы и назвал ее (по греческому названию янтаря *ήλεκτρον*) *электрической силой*. Существительного же слова «электричество», равно как и слова «магнетизм» у него нигде не встречается.

Наряду с янтарем Гильберт перечисляет множество тел, приобретающих электрические свойства от трения. Таковы: алмаз, сапфир, аметист, опал, горный хрусталь, все виды стекла, большинство сланцев; далее, сера, смолы, каменная соль, тальк, горные квасцы и еще некоторые другие. *Неспособными электризоваться* он признает: смарагд, агат, жемчуг, халцедон, (алебастр, мрамор, кости, слоновую кость и, наконец, металлы. Наэлектризованные вещества притягивают почти все твердые тела; лишь очень тонкие тела, как, например, все раскаленные вещества и пламя противостоят притяжению. *Сухой воздух, северный и восточный ветер благоприятны процессу электризации*; на солнце натертые тела сохраняют электрические свойства в течение 10 минут. *Напротив, влажность, выдыхаемый воздух, опрыскивание*

70 ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. СОЧИНЕНИЕ «De mundo»

спиртом и водой чрезвычайно ослабляют электрическую силу в телах; опрыскивание оливковым маслом не имеет влияния.

Таковы сведения Гильберта касательно электрических сил. Мы видим, что они не идут далее притяжения натертых тел: *свойство отталкивания было ему еще не известно.* Нельзя удивляться, что на такой низкой ступени знания *Гильберт не видит сходства между магнетизмом и электричеством и останавливается преимущественно на различии между ними.* Различия он находит в следующем: 1) электричество происходит только от трения; в магните притягательная сила представляет естественное и постоянное свойство тела; 2) электричество уничтожается от влажности; магнит продолжает действовать даже сквозь твердые тела; 3) магнит притягивает лишь немногие тела; электричество действует почти на все вещества; 4) магнит поднимает тела значительной тяжести; электричество — одни лишь легкие тела; 5) при электрическом притяжении действует только наэлектризованное тело и движется только притягиваемое тело; при магнитном — движутся оба тела. Отсюда вполне естественно со стороны Гильберта принимать совершенно различное происхождение для обеих сил. *Магнетизм он признает особой силой, присущей телу с самого начала, и приписывает ей чрезвычайно широкое поле действия. Электрическое притяжение он объясняет, подобно старым физикам, истечениями, выжимаемыми из тел при трении.* Тела, не проявляющие электрических свойств, имеют вследствие своей земной природы слишком грубые истечения. Последние не могут проходить сквозь тела, подлежащие притяжению, и насколько эти тела втягиваются в образовавшиеся пустые пространства, настолько же они вновь вытесняются грубыми истечениями.

Остается упомянуть еще об одном посмертном сочинении Гильберта, именно «*De mundo nostro sublunari philosophia nova*» (Амстердам, 1651). В нем он прямо восстает *против все еще господствующей философии Аристотеля.* Подобно Кардану, он опровергает учение об аристотелевских элементах и исключает из их числа, прежде всего огонь на том основании, что огненное вещество никогда не выделяется из тел. *Огонь — это только высшая степень теплоты; теплота же есть действие (actus) тончайшей жидкости, как бы тонкого материального эфира.* Гильберт, однако, не склоняется на сторону атомистики; напротив, он допускает непрерывность вещества в телах и не принимает теории их возникновения путем простого смешения и разделения. Поэтому он не относится враждебно к теории превращения элементов и допускает переход воздуха в воду, хотя и не без посредствующих ступеней ¹. С другой стороны, он по примеру атомистов признает существование пустого пространства; истечения из земли, а, следовательно, и атмосфера последней, не простираются далее немногих миль над ее поверхностью; отсюда до луны, а также между светилами находится пустое пространство; в противном случае небесные тела не могли бы свободно двигаться, и свет не мог бы распространяться мгновенно

¹ Более подробное изложение учения об элементах в течение разбираемого и предыдущего периода развития физики можно найти у Лассвица (*Lasswitz, Programm der Gymnasium zu Gotha, 1882* и его же «*Geschichte der Atomistik*», 2 тома).

ОПТИКА КЕПЛЕРА. ЦВЕТА 71

от них к нам. *Гильберт* — сторонник *Коперника* и разделяет, между прочим, его представление о силе тяжести. *Тяжесть* есть влечение одного тела к другому, частей к целому, осколков к своему шару, но не представляет собой влечения к определенной точке пространства, как полагают последователи *Аристотеля*. *Абсолютно легких тел нет*, и движение легких тел является следствием импульса, сообщенного окружающими более плотными телами. *Рядом с тяжестью*, действующей между частями одной планеты, *существует другая магнитная сила, распространяющаяся гораздо дальше и действующая между небесными светилами*. «Сила, истекающая из луны, достигает до земли, и подобным же образом магнитная сила земли пробегает все небесное пространство до луны; обе силы складываются при встрече и сочетаются в определенных отношениях. Действие земли, однако, гораздо значительнее вследствие ее большой массы. Земля притягивает луну и снова отталкивает ее от себя; то же делает в свою очередь луна с землей в определенных границах. Взаимодействие, однако, не сближает тел наподобие магнитных сил, а лишь заставляет их непрерывно вращаться одно около другого».

Представление о магнитной силе, действующей между небесными телами и вызывающей взаимное их притяжение и отталкивание, очевидно, возникло с целью объяснить постоянное движение спутника по одному и тому же пути, необъяснимое при тогдашних механических познаниях. Подобные действия со стороны громадного магнита, каким представляли себе землю, казались вполне естественными и побуждали многих искать связи между магнетизмом и движением небесных тел. *Для позднейшей небесной механики эти теории имели некоторое значение, подготовив почву для представления о действии на расстоянии, actio in distans*.

Блестящее тройное созвездие гениальных физиков озаряет начало XVII столетия. К именам Галилея и Гильберта присоединяется имя *КЕПЛЕРА*, единственного достойного представителя немецкой науки того времени. Заинтересованный исследованиями Тихо де-Браге¹ над астрономической рефракцией, Кеплер тоже занялся этим явлением и — как во многих других отношениях — ассистент и здесь пошел дальше знаменитого придворного астронома. *Кеплер не ограничился изучением одного этого оптического явления, а распространил свои исследования на всю данную область* — с тем, чтобы на основании исследования общих оптических явлений судить об особенностях астрономической рефракции. Для этой цели он избрал сочинение Вителлона², написанное в XIII в., и издал свои исследования в виде приложения к нему под заглавием: «*Ad Vitellonem Paratipomena quibus astronomiae pars optica traditur*» (Франкфурт на Майне, 1604).

В первой главе этой книги рассматривается природа света и цветов. За отсутствием в прошлом исследований настоящих физиков, Кеплер вынужден здесь оставаться в пределах перипатетической натурфилософии. Происхождение цветов он объясняет, по примеру *Аристотеля*³,

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел второй.

³ Ч. I, Ист. физики в древности, отдел первый.

72 КЕПЛЕРОВ ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

смешением света и темноты; цвет есть возможный свет, или свет, скрытый в материи, т. е. свет, более или менее затемненный различными веществами. *Вторая глава посвящена исследованию круглой формы пятен от солнечного света, проникающего сквозь малое отверстие в темную комнату.* Не упоминая Мавролика, сочинения которого были, по-видимому, ему неизвестны, Кеплер объясняет это явление совершенно так же ¹, хотя и употребляет для доказательства громадный геометрический аппарат. Интересно описание пути, которым он пришел к своему объяснению: «Я поместил на довольно значительном возвышении книгу, которая должна была изображать светящееся тело. Между этой книгой и стеной я поместил доску с многоугольным отверстием. Затем к одному углу книги прикрепил нитку, продел ее сквозь отверстие и, обводя вдоль границ последнего, начертил другим концом при помощи мела соответствующую фигуру на стене. Она оказалась вполне сходной с фигурой самого отверстия. То же получилось и от ниток, прикрепленных ко второму, третьему, четвертому углу и к другим местам книги. Из всех этих фигур образовалась, наконец, одна, которая имела тем большее сходство с очертанием книги, чем дальше находилась стена от отверстия». *Третья глава заключает в себе исследования о местах изображения, получаемых от зеркал.* Кеплер обращает здесь особое внимание на то обстоятельство, что мы смотрим двумя глазами, производя отсюда наше суждение о расстоянии, по крайней мере, в тех случаях, где расстояние между глазами не бесконечно мало в сравнении с расстоянием от предмета. *Четвертая глава посвящена вопросу о преломлении света.* Вопреки доводам Альгазена ², прежние оптики, не исключая самого Мавролика, допускали пропорциональность углов падения и преломления луча для одних и тех же сред. Кеплер измерил эти углы для воздуха и стекла при разных углах падения и нашел, что только для углов падения менее 30° отношение между ними и углами преломления ³ равно 3:1, как определил уже Птолемей ⁴; для больших же углов падения угол преломления оказывается больше, чем должен быть по указанному отношению. Поэтому *Кеплер делит угол преломления на две части, из которых одна пропорциональна углу падения, а другая пропорциональна секансу угла падения.* Мы знаем теперь, что это предположение неверно, но для дальнейших вычислений Кеплера было достаточно и этого приближения к истине. Причину различия преломления в разных средах он искал в различной плотности веществ, но в скором времени узнал от англичанина *Гарриота* (1560—1621), что между плотностью и преломляющей силой нет определенной связи. Гарриот прислал ему в письме в виде доказательства таблицы преломления света в различных средах. Тем не менее, этот вопрос продолжал занимать ученых, и даже Декарт в письме к Мерсенну отмечает, что хотя скипидар легче воды, но обладает большей преломляемостью.

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел первый.

³ Под углом преломления здесь всегда понимается угол, образуемый продолжением падающего луча с преломленным, т. е. угол отклонения.

⁴ Ч. I, Ист. физики в древности, отдел второй.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ. УСТРОЙСТВО ГЛАЗА 73

Говоря о работах Тихо, мы упомянули, что он допускал изменение рефракции по мере удаления светил от земли. Такой взгляд объяснялся общепринятым в то время мнением, будто воздух распространяется до самых звезд, вследствие чего лучи от более далеких светил должны были претерпевать большее преломление. Гессенский астроном Ротман допускал существование преломления только на горизонте и вступил в спор с Тихо, который считал рефракцию еще весьма значительной до высоты в 45° . Кеплер был убежден, что *преломление простирается до зенита*, и утверждал, наперекор Тихо, что на одинаковой высоте оно должно быть равным для всех светил, так как высота атмосферы незначительна и ни в коем случае не простирается до звезд. При этом он вычислил на основании астрономической рефракции высоту атмосферы, которая получалась у него равной всего лишь 0,48 миль, так как он принял, что атмосфера имеет равномерную плотность на всем своем протяжении и резко ограничена сверху. Красноватый свет, испускаемый луной при полных лунных затмениях, Кеплер впервые верно объясняет преломлением света в земной атмосфере.

В «*Paralipomena*», содержащих вообще много неверных данных и утомительных длиннот, по странной случайности всего *яснее та часть, которая посвящена процессу зрения и устройству глаза*, а именно пятая глава. Кеплер описывает сначала анатомическое строение глаза (по Иессениусу и Платтеру), затем переходит к происхождению изображения в глазу. *Конусы лучей, исходящие из точек предмета и имеющие общим основанием зрачок, преломляются хрусталиком так, что позади него снова образуют конусы, вершины которых лежат на сетчатой оболочке глаза и здесь дают изображения светящегося предмета*. Изображение бывает обратным, так как оси конусов пересекаются в хрусталике. Сетчатка же ощущает направление, по которому шли лучи, и потому для сознания не может быть сомнения, что нижняя часть изображения соответствует верхней части предмета, и наоборот. Кеплер предполагает, что по снятии прочих оболочек на задней части глаза должно быть видно изображение на сетчатке, но сам этих опытов не производил. *Аккомодацию* глаза к близким и далеким предметам Кеплер объясняет сжатием и расширением хрусталика, или приближением сетчатой оболочки к хрусталику, или обеими причинами вместе. *Близорукость и дальновзоркость* он поэтому, подобно Мавролику, относит на счет неправильной кривизны хрусталика. *Иррадиацию* он также пробует объяснить по своей теории, именно: он обращает внимание на то, что в близоруком глазе от всякой точки светящегося предмета получается на сетчатке световой кружок, вследствие чего предмет представляется с расплывшимися краями и несколько увеличенным; по отношению к очень далеким светящимся предметам, каковы, например, звезды, мы все находимся в состоянии близорукости. Невзирая на многие ошибки, трактат Кеплера резко отличается по духу от обычных оптических сочинений XVI в. *Такого ясного анализа хода световых лучей, даже при их прохождении через преломляющие среды, такого успешного изучения сложных оптических явлений мы не встречаем даже у Мавролика, который по общим своим чертам выдающегося математика наиболее приближается к Кеплеру.*
Кеплеровская теория зре-

74 ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

ния долгое время оставалась образцовой, а его приближение к закону преломления дало в скором времени первые плоды, именно в приложении ко вновь изобретенному оптическому инструменту — зрительной трубе. ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ, наряду с изобретением паровой машины, — самые спорные предметы в истории физики. Мало того, что указывают на признаки этого открытия чуть не за 1000 лет до его обнаружения и постоянно выступают новые лица с новыми доказательствами еще большей древности трубы, но даже для того времени, когда зрительная труба была в действительности открыта, приходится выбирать между несколькими претендентами на первенство. В первой части нашей книги были названы физики, которые подготовили это изобретение, именно Роджер Бэкон и Порта¹. Заявления, из которых пришлось бы заключить, что, пожалуй, уже Моисей рассматривал обетованную землю с горы Небо в зрительную трубу, мы, разумеется, оставим в стороне. В таком случае перед нами откроется период времени между 1590—1610 гг. и выбор между тремя голландскими оптиками: Захарием Янсенем, Яковом Меццусом и Гансом Липперсгеем (Липперсгейм, также Leppey?). Неудивительно, что выбор затруднителен теперь после 2³/₄ веков, если даже современники изобретения не знали, кому отдать первенство. Рудольф Вольф² приводит по этому поводу любопытную выписку из рукописи патера Шейнера от 1616 г.: «Если иметь в виду действие зрительной трубы, то нужно согласиться, во-первых, что честь открытия будет справедливо приписать Баптисту Порте, потому что он, хотя и в темных выражениях и загадочных словах, «первый описал прибор, соответствующий зрительной трубе. Во-вторых, если рассмотреть зрительную трубу со стороны ее устройства в том виде, как она вошла теперь в употребление, после постепенных усовершенствований, мы убеждаемся, что изобретателем ее нельзя признать ни вышеупомянутого Порту ни Галилея, так как в этом смысле зрительная труба была изобретена в Германии и Бельгии, и притом случайно, продавцом очков, который для забавы или для других целей складывал вместе выпуклые и вогнутые стекла и дошел, наконец, до сочетания, позволяющего видеть далекие предметы как бы вблизи и в увеличенном виде. Этот результат так обрадовал оптика, что он вставил несколько пар таких стекол в трубки и стал продавать их знатым людям за большие деньги. Таким путем зрительные трубки распространились мало-помалу между его соотечественниками и сделались известными и в других странах». Эти строки Шейнера интересны во многих отношениях, но для нас они не имеют значения. Добрый патер, не обинуясь, приписывает Порте изобретение зрительной трубы на том только основании, что он, «хотя и в темных выражениях», описал такой прибор. Нам известно, насколько темны были эти выражения; но мы знаем, кроме того, что в наше время не признают изобретателем того, кто смутно указал на возможность какой-нибудь вещи, а лишь того, кто впервые осуществил ее. Далее Шейнер хотя и указывает на то, что зрительные трубы, крайне несовершенные

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отделы второй и третий.

² Widemann, Ann. d. Phys. u. Chem., стр. 478 — 480.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ 75

вначале, мало-помалу достигли настоящего вида, но как произошло это усовершенствование и благодаря кому, он не объясняет. Наконец, столь обстоятельный в других отношениях патер довольствуется сообщением, что изобретателем был какой-то продавец очков, не давая ни малейшего указания на личность или имя продавца, между тем, именно о личности торговца и о точном времени изобретения шел спор. Можно надеяться, что теперь этот спор окончательно разрешен в пользу некоего продавца.

Французский врач *Пьер Борель* в 1655 г. издал в свет книгу «*De vero telescopii inventore*», где поместил засвидетельствованные судебным порядком документы из г. Миддельбурга в Голландии, а также письмо миддельбургского уроженца, голландского посланника Вильгельма Бореля (Vogel), из которых можно заключить, что оптик Захарий Янсен из Миддельбурга первый изобрел зрительную трубку, а Липперсгейм и Мециус начали делать такие же трубы после него и, быть может, по его образцу. Именно, Иоганн Янсен свидетельствует, что отец его, Захарий Янсен, изобрел в 1590 г. микроскопы и короткие зрительные трубки, а в 1618 г. — длинную зрительную трубу, тогда как Мециус устроил свою зрительную трубу в 1620 г. по образцу янсеновской. Сестра И. Янсена, Сарра Гедард, тоже засвидетельствовала, что ее отец изобрел зрительную трубу, но не была в состоянии указать в точности даты и относила изобретение к 1611 или 1613 г. Наконец, Вильгельм Борель сообщает, что, будучи мальчиком, играл с Иоганном Янсеном и от него не раз слышал, что отец его изобрел микроскоп в 1590 г., а в 1610 г. при участии своего сына Иоганна — длинную зрительную трубу. Такая труба была передана принцу Морицу Нассаусскому, и хотя насчет этого изобретения старались сохранить глубокую тайну, слухи о нем все-таки проникли в публику. Вследствие этого какой-то неизвестный, всячески добивавшийся получения подобного инструмента, попал в своих поисках не к действительному изобретателю, а к жившему поблизости Лапрею (Липперсгейму). Расспросы незнакомца возбудили любопытство оптика, и он мало-помалу дошел до устройства такой же зрительной трубы. Адриан Мециус и Корнелий Дреббель тоже научились делать зрительные трубы от З. Янсена в 1620 г. Показания Иоганна Янсена и Вильгельма Бореля вполне тождественны относительно изобретения микроскопа, и так как против них не нашлось возражений, то мы в первой части книги приписали это изобретение З. Янсону и — правда, с некоторым колебанием ¹ отнесли его к 1590 г. По отношению же к зрительной трубе такого согласия в показаниях нет — документы содержат явно много противоречий, не говоря уже о том, что все они исходят от малообразованных миддельбургских обывателей. Так, один из свидетелей приписывает изобретение Янсону, а другой — Липперсгейму ².

¹ Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

² Показания И. Янсена противоречат, как мы сейчас увидим, в отношении заслуг Липперсгейма и Мециуса, официальным, доныне сохранившимся, документам. Это возбуждает недоверие к нему вообще и наводит на подозрение, что И. Янсен умышленно отнес изобретение на несколько лет назад и приписал своему отцу то, что не было самостоятельным его открытием

76 ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

При таких данных мы едва ли могли бы придти к решению вопроса, если бы новые исследования не осветили его надлежащим образом. Новые данные помещены в сочинении *«Geschiedkundig Onderzoek naar de eerste Uitfinders der Verkykers uit de Aantekeningen van wyle den Hoogelaar van Swinden zamengesteld door G. Moll»* (Амстердам, 1831) Главным источником собранных Свинденом фактов был, как видно из заглавия, Гаагский архив. Мы узнаем в этой книге, что некий Адриан Антонизсон, бургомистр Алькмарский и крепостной инженер штатов, имел 4 сыновей, из коих двое приобрели большую известность. Один из них Адриан за свое прилежание к математике получил в университете прозвание Мециуса (которое присвоила себе потом вся его семья) и нашел знаменитую дробь $355/113$ для отношения длины окружности к диаметру. Другой сын, Яков Антонизсон, или Яков Мециус, был чудак, нелюдимый и малоспособный к учению; он перенял от одного оптика искусство шлифовать стекла и делал много зажигательных зеркал и зажигательных стекол. Он-то 17 октября 1608 г. подал правительству штатов прошение такого содержания: *«Два года тому назад упорным трудом и размышлением он дошел до изобретения инструмента, при помощи которого можно вполне ясно видеть далекие предметы, не различаемые вовсе или смутно различаемые простыми глазами. Прилагаемый пробный экземпляр изготовлен из плохого материала; но по заключению его превосходительства и других лиц, имевших случаи сравнивать оба инструмента, он в смысле действия ни в чем не уступает изготовленному в недавнее время миддельбургским гражданином У. Э. Д. М.»*. Он просит правительство воспретить на 22-летний срок продажу и покупку всем, кто не сделал этого открытия раньше и не обнародовал его. Просителю предложили усовершенствовать свой прибор, после чего может быть вынесено решение насчет запрещения. Чудак Мециус после этого уже не заявил о себе, миддельбургский же гражданин, предупредивший его, был Липперсгей. 2 октября 1608 г. Ганс Липперсгей (родом из Везеля, шлифовальщик очков в Миддельбурге) успел уже подать штатам прошение о том, *«чтобы ему за изобретенный им инструмент для смотрения вдаль была дана привилегия на 30 лет и вместе с тем годовая пенсия под условием изготовлять такие приборы исключительно в пользу государства»*. Генеральные штаты назначили комиссию для рассмотрения этого дела; затем вели переговоры с изобретателем, и, наконец, 13 февраля 1609 г. было отмечено, что Липперсгей представил два инструмента (для смотрения обоими глазами, как от него требовали) и что правительство определило выдать ему желаемое вознаграждение. В привилегии же ему было отказано, так как другие лица уже были знакомы с этим прибором¹. Последнее замечание относится, по всей вероятности,

или же было сделано им позже других. Липперсгейм умер в 1619 г., Мециус — между 1624—1631 гг. Оба эти лица, стало быть, не могли возражать против показаний, данных в 1655 г. Посланник же Борель, беспристрастие которого мы не имеем права заподозрить, рассказывает о давно прошедшем и только на основании слухов, поэтому его мнение не может быть решающим.

¹ Сведения эти заимствованы главным образом от Нюренбергера (*Nürnbergger, Astr. Handwörterbuch*, статья *Fernrohr*).

БЫСТРОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ 77

к Якову Мециусу; во всяком случае, имя Янсена не упоминается в этом делопроизводстве. На основании приведенных документов *первым конструктором зрительных труб следует признать Ганса Липперсгея*. Мы склонны видеть в нем и первого их изобретателя, так как равноправного конкурента у него не оказывается. Первые зрительные трубки состояли, как всем известно, только из двух стекол, выпуклого и вогнутого; они допускали незначительное увеличение, но зато давали прямые изображения и были удобны по небольшому своему размеру. Такие *голландские*, или *галилеевские*, зрительные трубки в показаниях Янсена и Бореля называются «короткими». Об изобретении длинных, так называемых *кеплеровских*, или астрономических, труб будет речь впереди.

Быстрое распространение зрительных труб, начиная с 1608 г., может служить вернейшим показателем того, что изобретение было сделано именно около этого времени. Зрительная труба не принадлежит к числу тех инструментов, которые люди научаются ценить только после продолжительной работы с ними. Обозревать даль, приобрести для своих глаз господство хоть над небольшим излишком пространства — слишком заманчивая вещь, чтобы инструмент, даже самый несовершенный, который удовлетворял бы этому стремлению человека, не пошел в ход исполинскими шагами. Вот почему мы оставляем в стороне указания, будто Цезарь или Птолемей употребляли зрительные трубки, и отказываемся принимать темные выражения Порты и других за указание на их знакомство со зрительной трубой.

Генеральные штаты желали сохранить в тайне изобретение, имевшее в их глазах большую ценность, но напрасно. Уже 28 декабря 1608 г. *французский посол в Гааге президент Жанен* писал королю Генриху IV и его министру Сюлли об этом инструменте. Он пробовал приобрести его тайком у миддельбургского оптика, но тот не согласился, ссылаясь на свое обещание не продавать ни одного экземпляра без ведома правительства; впрочем, штатами уже заказаны две трубы для его величества и Сюлли. Еще раньше, по-видимому, проникли зрительные трубки в *Германию*. В письме от 1614 г. *Симон Мариус* (Мауер), математик маркграфа Бранденбургского, сообщает, что на осенней ярмарке 1608 г. во Франкфурте на Майне один купец рассказывал приятелю Мариуса Фуксу фон Бимбаху, что в город приехал бельгиец, изобретший инструмент, при помощи которого можно ясно видеть отдаленные предметы. Фукс просил показать ему этот инструмент, причем, несмотря на трещину в одном из стекол, предметы действительно оказались увеличенными в несколько раз. Фукс хотел, было купить замечательную новинку, но торг не состоялся, потому что купец запросил слишком дорогую цену. Затем приятель отправился в Аншпах к Мариусу, и здесь они вместе попробовали соединить выпуклые и вогнутые стекла и добились некоторого увеличения, хотя вполне цели своей не достигли вследствие слишком большой вогнутости одного из стекол. Они выписали себе из Нюрнберга другие стекла; однако дело почему-то затянулось до лета 1609 г., когда им была прислана превосходная зрительная трубка из Бельгии. *Италия* познакомилась с новым изобретением, по-видимому, только в 1609 г. Милан-

78 ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

ский ученый *Иероним Сиртурус* сообщает ¹, что в мае 1609 г. прибыл в Милан француз, выдававший себя перед графом Фуэнтес за изобретателя зрительной трубки; но так как в городе не нашлось хороших стекол, то француз уехал в Венецию. Кардиналу *Боргезе* около того же времени была прислана зрительная трубка из Нидерландов.

Первый непосредственный успех нового инструмента объясняется удовольствием, доставляемым приближением к глазу далеких предметов. Польза зрительной трубки ограничивалась, по-видимому, для самого изобретателя военными целями — выгодами, которые представляло для начальников и командиров распознавание неприятеля на большом расстоянии. *Только гениальный ум Галилея был способен перенести этот инструмент в новую область знания.* Его не привлекала праздная забава разглядывания с церковных башен знакомых предметов, которые можно было видеть гораздо яснее вблизи без помощи зрительных трубок. *При первом взгляде на новый инструмент он угадал в нем могущественное средство вырваться из тесных пределов земли и проникнуть в глубины небесного пространства.* Благодаря этой великой мысли, которая в то время была вовсе не так близка человеческому пониманию, как мы теперь можем предполагать, зрительная труба из игрушки превратилась в могучее орудие. *В применении зрительной трубы, как и во многом другом, астрономия опередила физику.* Правда, и она сначала видела в новом приборе лишь увеличительное стекло, но мало-помалу узнала еще и более важное значение его в качестве орудия измерения. Тогда физика вновь взяла в свои руки зрительную трубку, подаренную ею первоначально астрономии. Прежде, однако, чем посмотреть, как Галилей при посредстве зрительной трубы с невероятной быстротой превратился из физика-новатора в великого астронома, необходимо познакомиться с одним астрономическим открытием, которое, несмотря на видимую отдаленность от физика, тем не менее, подготовило один из крупнейших переворотов в этой науке.

Предпошлем описанию величайшего научного открытия Кеплера краткий очерк его жизни. *ИОГАНН КЕПЛЕР* (также Kheppler и Keppler) ² родился 2 декабря 1571 г. в Магштате, деревне близ имперского города Вейля в Вюртемберге. Отец его был обедневший дворянин, мать — необразованная женщина, не умевшая ни читать, ни писать. Поэтому воспитание слабого и болезненного мальчика оставляло желать многого. Посещение школы часто прерывалось до 1584 г., когда мальчика отдали в монастырскую коллегию в Адельберге, а затем (1568) перевели в Маульброннскую школу. Получив в 1588 г. степень бакалавра, Кеплер поступил на богословский факультет Тюбингенского университета, так как родители предназначали его к духовному званию; здесь в виде вступительного курса он должен был изучать математику и проявил в ней сразу такие блестящие способности, что его

¹ Telescopium s. ars perficiendi novum illud Galilei visorium instrumentum ad sidera. Франкфурт на Майне 1618). Здесь впервые встречается название «телескоп» вместо perspicilli и пр. Название «телескоп» и «микроскоп» введено Демисцианом.

² Правописание имен было особенно неопределенным в Германии в XVII и XVIII вв. Главной причиной этого была, вероятно, тогдашняя манера латинизировать имена.

ЖИЗНЬ КЕПЛЕРА 79

профессор Местлан начал заниматься с ним частным образом и познакомил его с системой Коперника, которую Кеплер, еще будучи студентом, принялся защищать словесно и печатно. Это сделало его подозрительным в глазах ортодоксальных теологов, и так как он сам не мог увлечься ортодоксальным богословием, то последовал совету своего учителя и принял в 1594 г. место профессора математики в Граце. Здесь он получал 120 гульденов жалованья и сверх того 20 гульденов за составление календаря, который он начал издавать в 1595 г. Календарь этот, благодаря нескольким удачным астрологическим предсказаниям, которым он сам не придавал значения, доставил ему немалую известность. Но в гораздо лучшем смысле сделало его известным сочинение «*Mysterium cosmographicum*»¹, послужившее поводом для сближения с Галилеем, Тихо и др. Последний пригласил его в Прагу с тем, чтобы Кеплер помог ему в его работах. А так как Кеплера в это время сильно утомили религиозные преследования, которым он подвергался со времени вступления эрцгерцога Фердинанда на престол Зальбургского княжества, то он в октябре 1600 г. решился переселиться в Прагу вместе с женой, хотя и не имел никаких надежных видов на материальное обеспечение. Место, занимаемое Тихо, досталось ему после преждевременной смерти последнего. Кеплеру было поручено составить новые звездные таблицы, но уплата жалованья, а так же и денег, необходимых для его работ, производилась крайне небрежно. С самого назначения в Прагу до конца жизни Кеплеру постоянно приходилось бороться с заботами о куске хлеба. Император и государственные чины, к которым тот направлял его, были одинаково медлительны в денежных уплатах; Кеплер жалуется, что он принужден тратить больше времени на исходатайствование следовавших ему по праву денег, чем на астрономические работы, и что он не имел возможности держать при себе счетчика — обстоятельство особенно тягостное при его частых ошибках в вычислениях. В 1612 г. умер император Рудольф II. Его преемник Матвей, хотя и оставил за Кеплером прежнее место, однако ни в чем не улучшил положения пражского астронома, которого нужда заставила, наконец, принять место в окружном училище в Линце. Здесь Кеплер должен был преподавать математику, исправлять карты страны и в то же время продолжать составление звездных таблиц для императора. Жалованье, назначенное ему в качестве императорского математика, выплачивалось по-прежнему неаккуратно, так что, когда, после вступления Фердинанда II на престол, усилившиеся религиозные гонения заставили Кеплера покинуть школу в Линце, долг казны ему простирался до 12 000 гульденов. Кеплер переселился в Ульм, надеясь издать там свои звездные таблицы, несмотря на недостаток средств. Между тем постоянные напоминания Кеплера о деньгах успели надоесть императору, и тот сдал его на руки Валленштейну. Последний пригласил Кеплера к себе в Саган, в Силезию; когда же Кеплер не оправдал его ожиданий в роли придворного астролога, то он поспешил отделаться от него профессурой в Ростоке. В 1630 г. Кеплер отправился в Регенсбург жаловаться

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

80 «Astronomia nova»

рейхстагу на причиненные ему несправедливости. Но силы его были исчерпаны, и он умер в Регенсбурге 15 ноября на 59 году жизни.

Жизнь Кеплера была сплошной цепью бедствий. Его отец отправился на войну в 1589 г. и погиб без вести; первый брак Кеплера, заключенный в 1597 г., был несчастлив; в 1620 г. мать его подверглась обвинению в колдовстве, и только защита Кеплера, который поспешил к ней на помощь (сделав 70 миль от Линца до Вейля), спасла ее от пытки. Наконец, последние годы его жизни совпали с началом тридцатилетней войны, которая наряду с разнообразными тревогами, внесенными в его жизнь, отвратила от него деятельное участие коронованных особ. Требовался, в самом деле, не только гениальный ум, но и необычайная сила характера, чтобы в борьбе с нуждой, при гнетущих семейных обстоятельствах, среди бурь великой войны и религиозных столкновений сделать для науки то, что сделал Кеплер. Мы имеем перед собой в его лице не мученика, покорно выносящего несколько минут жестоких страданий, а героя, мужества которого не могли поколебать долгие годы мучений.

Научное наследство Кеплера не раз переходило из рук в руки. В 1718 г. Ганш, при денежном пособии императора, издал первый том его сочинений, вместе с письмами; но только в 1856—1871 гг. вышло в свет полное собрание его трудов: «*Ioannis Kepleri opera omnia*» в 8 томах, изданное проф. Хр. Фришем в Штутгарте.

Важнейшим астрономическим сочинением Кеплера признается «*Astronomia nova aitiologhetoꝝ seu physica coelestis tradit commentariis de motibus stellae Martis*» (Прага, 1609). Назовем здесь, кстати, и другие астрономические трактаты его, за исключением «*Prodromus*», о котором уже была речь, а именно: «*Epitome astronomiae Copernicanae*» (Линц, 1618); «*De Cometis*» (Аугсбург, 1619); «*Harmonices mundi*», Линц, 1619) и, наконец, «*Tabulae Rudolphinae*» (Ульм 1627).

Для небесной механики, специально для движения планет, было установлено три закона, удовлетворявших и коперниковой и птолемеевой системе мира при соответствующей замене земли солнцем:

1. Пути планет суть эксцентрические круги.
2. Внутри каждого из этих путей находится точка (*punctum aequans*), из которой движение планеты кажется равномерным.
3. Для земного пути эта точка совпадает с его центром, для прочих же планетных путей точка эта лежит на прямой линии между центром пути солнцем, притом так, что центр делит пополам расстояние солнца от этой точки.

Когда Кеплер сблизился с Тихо, тот был занят определением орбиты Марса, представлявшим большие трудности. Тихо поэтому предположил, что для орбиты Марса *punctum aequans* находится на ином расстоянии от центра орбиты, чем сама планета, и вывел теорию, расходящуюся с наблюдением лишь на несколько минут. Он был склонен удовлетвориться этим результатом, но не мог убедить Кеплера последовать его примеру. Так как последний не мог отнести этого уклонения за счет ошибок наблюдения, то предпринял после смерти Тихо, имея в руках весь собранный последним материал, новый ряд исследований и, наконец, в 1609 г. получил возможность сообщить

«Astronomia nova». ЗАКОНЫ КЕПЛЛЕРА 81

в «*Astronomia nova*» об их полном успехе. В посвящении своего сочинения императору он описывает понесенные им труды в шутиливом тоне: «В этой войне высшая честь принадлежит рвению полководца Тихо, который в течение двадцатилетних ночных бдений изучил все привычки неприятеля, выследил его тактику и раскрыл его планы. Просвещенный мемуарами, оставленными Тихо, он (Кеплер) в качестве его преемника на поле битвы уже не страшился неприятеля, а только стал внимательно наблюдать время его возвращения к одному и тому же месту, направил на него тиховские машины, снабженные тонкими диоптрами и, наконец, при круговых объездах на колеснице матери-земли исследовал всю местность. Борьба стоила ему, однако, не мало пота. Часто недоставало машин именно там, где они были всего нужнее, или же с ними не умели обращаться или их направляли не так, как следовало. Нередко также блеск солнца или туманы мешали нападающим ясно видеть, или же густой воздух отклонял заряды от их настоящего пути. Борьбу затрудняла сверх того чрезвычайная изворотливость неприятеля и его бдительность, между тем как его преследователей нередко одолевал сон. В собственном лагере тоже произошло немало несчастий: смерть полководца Тихо, возмущение и болезни; к тому же, — как это обнародовано в сочинении о новой звезде, — в тылу появился неожиданный страшный неприятель в виде громадного дракона с необычайно длинным хвостом, поразившим ужасом все его войска. Сам же он не дал смутить себя страхом и неустанно преследовал врага на всех его поворотах, пока тот, видя, что ему закрыты все выходы, не склонился к миру и не признал себя побежденным; тогда под конвоем арифметики и геометрии, в весьма веселом настроении духа он вступил в неприятельский лагерь. Сначала, не привыкший к покою, Марс еще пытался устрашать; но, потерпев неудачу, он отложил всякую тень неприязни и стал вести себя, как верный союзник. Об одном только Марс просит его величество: у него на небе еще насчитывается много родных: отец Юпитер, дедушка Сатурн, сестра и приятельница Венера и брат Меркурий; все они объединены между собой общностью нравов, и Марс горячо желает, чтобы вся его семья находилась в дружественном общении с людьми и пользовалась одинаковым с ним почетом». — Его величество да соблаговолит поддержать энергию дальнейшей борьбы денежными средствами — этим нервом войны.

В самом сочинении Кеплер описывает бесчисленное множество попыток, которые ему пришлось сделать, чтобы, сохраняя эксцентрические круги, согласовать теорию с наблюдением. Прежде всего, он заметил, что для земного пути приходится вывести *punctum aequans* из центра круга и что при этом условии движение земли может быть определено с удовлетворительной точностью. Но движение Марса не подчинялось теории кругового пути ни при каких условиях, и Кеплер был вынужден принять для него сначала неопределенный овальный, а затем эллиптический путь. Так как с принятием этой гипотезы исчезли все неточности, то он распространил ее и на другие планеты и вывел свой первый закон: *пути всех планет суть эллипсы, в одном из фокусов которых находится солнце*. Далее, применив прежнее положение относительно

82 ЗАКОНЫ КЕПЛера. ЕГО УЧЕНИЕ О ТЯЖЕСТИ

punctum aequans к новым планетным путям, он тотчас же нашел второй закон: *планеты движутся по своим путям с такой скоростью, что радиусы-векторы (линии, проведенные от солнца к месту нахождения планет) описывают одинаковые площади в равные времена*. Таковы достижения «Новой астрономии». Третий закон в нее не вошел, так как протекло еще десять лет, прежде чем он был открыт.

В своей «Астрономии» Кеплер всего полнее отрешается от наклонности к мечтаниям и любви к чудесному, которые вообще были ему присущи. Но именно здесь можно видеть, в какой мере *пылкая фантазия великого астронома шла рука об руку с творческой изобретательностью*. Первое астрономическое сочинение Кеплера «Prodromus» было посвящено закону планетных расстояний, который он под влиянием пифагорейского учения искал в одной алгебраической закономерности. После своей «Astronomia nova» он снова принялся за решение того же вопроса, но гораздо углубленное, стараясь привести расстояние в соотношение с другими свойствами планетных путей. Этот ход мыслей натолкнул его на периоды обращений и он гениальным взором увидал связь, существующую между последними и расстояниями планет от их центрального тела. В «*Harmonices mundi*» Кеплер сообщает, что 18 марта 1618 г. он впервые напал на мысль сравнить квадраты времен обращений с кубами их средних расстояний, но что ошибка в вычислении помешала в ту пору достижению цели. 15 мая того же года он снова вернулся к прежней мысли и тут уже нашел всем известное отношение, которое носит название *третьего закона Кеплера*, а именно, что *квадраты времен обращения планет относятся между собой как кубы их средних расстояний от солнца*.

Своими законами Кеплер положил основание небесной физике, по его терминологии, или по современному нам, более точному наименованию, — *небесной механике*. Он нашел эти законы эмпирически и гениальным умом постиг закономерность явлений, сокрытую глубоко в хаотической груде наблюдений. Но причину этой закономерности ему открыть не удалось, хотя после найденной им арифметической зависимости времен обращений от расстояний было довольно естественно искать и физическую зависимость этих величин. Каким образом могло случиться, что Кеплер не сделал последнего шага, не открыл всеобщего тяготения? Из его сочинений можно заключить, что мысль об этой силе не была вполне чужда ему; по крайней мере, в своей «Новой астрономии» он посвящает много места рассуждениям о силе тяжести. Вопрос этот снова приводит нас к нашей ближайшей задаче, и мы теперь займемся рассмотрением *механических воззрений Кеплера*, из которых выяснится внутренняя причина непонятной с виду случайности.

Кеплер начинает с резкого опровержения старинной теории движения всех тяжелых тел к центру вселенной и, подобно Копернику, считает тяжесть стремлением однородного к соединению. Но затем он идет дальше Коперника. Центр вселенной, как математическая точка, не способен привлекать к себе тела, так как последние не могут иметь влечения к фикции; равным образом не могут тела стремиться к центру вселенной вследствие того, что они выходят из пределов круглого мира. Напротив, всякое материальное тело, поскольку оно

КЕПЛЕР О ПРИЧИНЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ 83

материально, способно покоиться в любой точке мироздания, если только в этом месте оно находится вне круга действия сродного ему тела. *Тяжесть есть стремление сродных тел к соединению.* Камень стремится не к какой-либо точке в пространстве, но притягивается землей и следует за ее движением. *Будь земля не шаровидна, падающие тела не могли бы направляться к ее центру, а направлялись бы к различным точкам.* Если бы два камня были перенесены на такое место, где бы на них не действовали никакие другие тела, они взаимно притянулись бы, подобно двум магнитам, причем пути обоих были бы обратно пропорциональны их массам. *Таким же образом земля и луна, если бы их обращение не поддерживалось какой-нибудь живой силой, должны были бы соединиться между собой, причем луна приблизилась бы на 53 части, а земля на одну часть их взаимного расстояния, если предположить плотность обоих тел одинаковой.* Действие притягательной силы луны на землю можно явственно видеть на морях. Моря излились бы все на луну, если бы их не удерживала земля. Но так как земля их удерживает, то на месте, над которым вертикально стоит луна, образуется на морской воде гора, обуславливающая морские приливы. Эта гора или волна следует за движением луны вокруг земли, но, в конце концов, она опаздывает, так как не может сравняться с луной в скорости. Аристотелевское представление об абсолютной легкости некоторых веществ ложно; нет вещества легкого или стремящегося прочь от земли; там, где подобное явление наблюдается, происходит вытеснение более легкого вещества более тяжелым. Земля связывает все земные тела и все их, не исключая облаков, увлекает с собой при своем ежедневном обращении вокруг своей оси. Таковы представления о тяжести, изложенные Кеплером преимущественно в «*Astronomia nova*». В «*Harmonices mundi*» он идет еще дальше и сравнивает ослабление тяжести, исходящей из широкого тела, с ослаблением света, считая то и другое пропорциональным квадрату расстояния. При всем том ему не приходит на мысль приложить свои теории к обращению планет вокруг солнца. Он видит в тяжести только причину взаимной связи в планетной системе, не имеющую никакого отношения к движению планет вокруг солнца. Для дальнейшей разработки теории планетных движений ему недостает правильной теории движения вообще, недостает знания галилеевской динамики и главным образом недостает как исходной точки закона инерции в его полной формулировке. Кеплер вполне ясно формулирует статическую половину этого закона, о динамической же он не имеет никакого понятия. О том, что круговое движение небесных тел может быть вызвано присущей им навеки прямолинейной скоростью, приобретенной неизвестно когда и как, он не мог и помыслить, ибо всецело находился под влиянием древнего представления, что движение должно угаснуть само собой, подобно пламени, если какая-нибудь сила не будет поддерживать и питать его. Кеплер постоянно стремится открыть такую силу, которая вращает планеты около их осей и водит их вокруг солнца, и, не будучи в силах найти ее вне планет, возвращается в «*Epitome*» и «*Harmonices*» к прежним мистическим воззрениям. *Все небесные тела, вращающиеся около своей оси, обладают душой, которая и есть причина этого движения.*

84 АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ ГАЛИЛЕЯ (1609—1616)

Доказательствами в пользу существования земной души он считает внутреннюю подземную теплоту (материя сама по себе холодна), выпотение влаги и образование рек (соответствующих сосудам животного тела), образование горючих ископаемых, способных превращаться в свет, внутреннее строение вещества, например, в кристаллах и пр. Солнце, согревающее и оживляющее все, должно особенно обладать душой, которая и вращает его вокруг оси. *Это вращение увлекает за собой и планеты, движущиеся вокруг солнца*, подобно тому, как железо следует за магнитом, который мы вертим; разница лишь в том, что *планеты следуют за солнцем с различной скоростью, соответственно их тяжести*.

Не станем долее останавливаться на этом предмете, а также на том, как Кеплер далее подробно развивает сходство тяготения с магнитным притяжением: в его время получила распространение манера объяснять все непонятные влияния магнетизмом. Даже Галилей не отрицал связи между суточным обращением земли и ее магнитными силами. В некоторых же умах подобные представления укоренились так прочно, что они думали ниспровергнуть всю мировую систему Коперника, показав, что шар из намагниченного железа отнюдь не способен благодаря магнетизму без конца вращаться около своей оси.

ГАЛИЛЕЙ был еще падуанским профессором, когда в июне 1609 г., при случайной поездке в Венецию, он услышал о новоизобретенной зрительной трубе. Он поспешил вернуться в Падую и после долгого размышления напал на то самое сочетание стекол, которое было найдено голландцами; вскоре, однако, благодаря высокому качеству венецианских стекол он усовершенствовал свой инструмент настолько, что получал увеличение в 30 раз, между тем как трубы первых изобретателей едва увеличивали в 5 раз. Много спорили о том, насколько Галилей действовал в этом случае самостоятельно, руководился ли он описанием нового инструмента или же имел его в руках. *Галилей сам никогда не утверждал, что он изобрел зрительную трубу вполне самостоятельно*; да не в этом и дело: главная заслуга Галилея заключается вовсе не в устройстве инструмента, а в его специальном применении. Галилей не остается, как другие, раболепно на земле, а смелым умом постигает возможность открыть человеческому знанию новые миры и весь отдается своей новой задаче.

Не прошло и десяти месяцев после устройства зрительной трубы. Как появился в печати «*Nuntius sidereus*», сочинение Галилея, заключающее в себе множество новых открытий. Луна при рассматривании в зрительную трубу представляла неровную поверхность с высокими горами и глубокими кратерами. Млечный путь распадался в некоторых местах на кучи звезд. В других частях «небо тоже оказывалось усеянным бесчисленным множеством мелких звезд, невидимых простому глазу; планеты отличались от мерцающих мелких звезд своим ровным мягким светом. *Однако важнейшим фактом и в глазах самого Галилея является открытие системы спутников Юпитера*. Именно, 7 января 1610 г. он заметил три звездочки, которые двигались вокруг Юпитера, как луна вокруг земли, а шесть дней спустя ему удалось открыть и четвертую. Времена обращения новых светил, как оказалось впоследствии, не могли быть определены с точностью, допускающей предска-

зания; тем не менее, Галилей наблюдал их затмения настолько ясно, что мог убедиться в аналогии этих звездочек с земным спутником и *наименовать их лунами Юпитера*.

Новое астрономическое сочинение произвело неслыханную сенсацию, и вместе с его быстрым распространением разнеслась по всему миру и слава Галилея. В том же 1610 г. «Nuntius sidereus» был перепечатан в Праге, Франкфурте на Майне и Париже. Венецианский совет, который в зрительной трубе видел средство усиления господства на море, возвысил содержание Галилея до 1000 гульденов и сократил по возможности его обязательные профессорские занятия; тем не менее, Галилей не пожелал остаться в Падуе на службе республики. В июле 1610 г. он переехал во Флоренцию, где получил титул великогерцогского математика и философа и значительные подарки, сверх содержания в 1000 скуди, при полной свободе от должностных занятий. Венецианцы горячо сожалели об его потере, и некоторые влиятельные и надежные друзья предупреждали его об опасностях, которым он мог подвергнуться во Флоренции, где господствовали иезуиты и где двор находился под римским влиянием. Галилей считал эти опасения неосновательными и стоял на своем, стремясь, по свидетельству одного письма¹, иметь в полном распоряжении все свое время для научных работ. В упомянутом письме он перечисляет сочинения, которые он желал бы окончить, именно: *две книги de sestemate seu constitutione universi; 3 книги de motu locali; 3 книги о механике и еще несколько других работ по физическим вопросам. Заглавия напоминают его позднейшие великие творения и служат подтверждением того, что материал для этих сочинений был собран еще в Падуе*. По несчастью Галилей не нашел желаемого покоя во Флоренции, и опасения его венецианских друзей скоро превратились в действительность. Неустанно работал он здесь; за перечисленными выше астрономическими открытиями быстро следовали новые, но по мере нарастания числа его почитателей увеличивалось и число его врагов.

Уже в письме к Винте от 30 июля 1610 г. Галилей сообщает о новых открытиях на Сатурне; то же известие посылает он Кеплеру в форме анаграммы, которую он разъяснил ему 13 ноября 1610 г. следующим образом: «*altissimum planetam tergeminum observavi*»; именно, он видел Сатурна, поддерживаемого двумя малыми боковыми звездами. При дальнейшем наблюдении эти звездочки исчезли, и, наконец, планета представилась ему одетой в шапку с обеих сторон. Дальше Галилей не пошел, потому ли, что начинавшаяся слабость зрения мешала наблюдению, или же потому, что его зрительная труба не была способна к большему увеличению. В конце сентября 1610 г. он увидел Венеру в форме серпа и заметил, что она проходит световые фазы наподобие луны. Наконец, в конце того же года Галилей (по собственному его завершению) заметил на солнечном диске пятна. Кеплер наблюдал подобное же явление 28 мая 1607 г., но объяснил его прохождением Меркурия впереди солнца.

¹ К Винте (Vinta) первому государственному секретарю великого герцогства Тосканского, от 27 мая 1610 г.

86 ВЛИЯНИЕ ОТКРЫТИЙ ГАЛИЛЕЯ

Так окончился 1610 г., полный беспримерных успехов для Галилея. Затем пошли годы разочарований. По поводу открытия солнечных пятен возник вскоре горячий спор, из которого Галилей не вышел безусловным победителем. Фрисландский астроном Фабриций, во всяком случае, опередил его в обнаружении открытия, а иезуитский патер Шейнер, в свою очередь настаивавший на правах первенства, сделался его ожесточенным врагом. В сочинении, вышедшем в 1614 г., Симон Мариус {«*Mundus jovialis*», Нюрнберг, 1614) утверждал (по всем признакам, совершенно неосновательно), что уже летом 1609 г. он наблюдал спутников Юпитера, из чего явствовало, что он начал употреблять зрительную трубу для исследования небесных явлений раньше Галилея. Такого рода неприятности не могли, однако, поколебать спокойствия его духа. Гораздо хуже было то, что его противники, *видя свое бессилие на научном поле битвы, принялись возбуждать против него духовные власти.*

В течение первых лет новые открытия как бы ошеломили всех и не вызвали никакой враждебной реакции. Все заинтересовались новым оптическим инструментом, каждому хотелось взглянуть на открытые им на небе чудеса. Физики-перипатетики остались при своих книгах и могли только пассивно наблюдать за движением нового потока. Католическая церковь не успела еще встать на чью-либо сторону, и многие из ее членов были горячими почитателями Галилея. Вскоре, однако, противники вышли из своего оцепенения, и по мере того, как они убеждались в опасности, угрожавшей им со стороны новых открытий, в них возрастала решимость отчаянного сопротивления. Своими физическими открытиями Галилей уже давно нажил себе врагов между физиками-перипатетиками, но вражда ограничивалась пока академическими рамками. Молодому ученому мешали по мере возможности распространять революционное учение, но пока он не затрагивал почтенных господ за живое, его оставляли в покое. Огромная масса настолько привыкла к прежней пище, а новая пища так трудно переваривалась, что скорого переворота в понятиях не приходилось бояться. В самом деле, в науке того времени не видно заметных признаков знакомства с механикой, в том виде, как она преподавалась в Падуе Галилеем, и не заметно также сочувствия большинства к экспериментальному методу. *Новый метод, по всей вероятности, проник бы в физику медленными шагами, если бы наблюдение небесного свода не разрушило с непреодолимой силой все здание аристотелизма.* Когда зрительная труба разложила сферу неподвижных звезд на целый мир необъятной глубины, когда на Солнце были найдены пятна, когда у планет открыли спутников, соответствующих нашей луне, — стало совершенно невозможно отрицать успехи новой науки, далеко опередившей в этой области науку древних. Когда был поколеблен вековой устой небосвода, тем легче должны были придти в движение земные отношения. Раз наблюдение и опыт одержали победу над старым учением в небесных пространствах, это учение должно было и на земле утратить свое освещенное веками значение, а опыт — вступить и здесь в свои права, тем более что после новых астрономических открытий движение охватило более широкие слои общества. Когда Кеплер доказывал, что

ПРОТИВНИКИ ГАЛИЛЕЯ 87

орбиты планет не могут иметь формы совершеннейшей линии, т. е. круга, то аристотелики и клирики могли оставаться спокойными, потому что масса их почитателей не могла заинтересоваться столь мудреными вопросами; *когда же Галилей стал показывать всякому желающему Юпитера с его четырьмя спутниками, как образчик солнечной системы по теории Коперника, возникла неотложная необходимость срочного вмешательства, если в данной области хотели спасти старую точку зрения.* О профессорах-перипатетиках рассказывают, что они отказывались смотреть в зрительную трубу из боязни увидеть спутников Юпитера. Однако это средство не могло долго служить, и необходимо было начать прямо противодействовать новому учению. Иезуиты вначале не относились враждебно к новым открытиям. Галилей пишет (17 декабря 1610 г.) Вельзеру в Аугсбурге: «Наконец опубликованы наблюдения над Медицейскими звездами (лунами Юпитера), производившиеся несколькими иезуитами, учениками о. Клавиуса Я показывал их всем иезуитам, живущим во Флоренции, и приезжим, и они отзывались о них в разговорах и проповедях (весьма благосклонно». Статс-секретарю Винте он пишет (1 апреля 1611 г.): «Я узнал, что господа иезуиты рассмотрели, наконец, новые Медицейские планеты и наблюдали их внимательно с 12 мая. Они всячески стараются открыть их периодическое движение, но вынуждены согласиться с императорским математиком, что это дело весьма мудреное и почти невозможное». Другие духовные лица тоже склонялись к воззрениям Галилея; его давнишний доброжелатель, кардинал дель Монте, писал великому герцогу Тосканскому: «Галилей доказал свои открытия с такой очевидностью, что все просвещенные и понимающие дело люди познали истину и прониклись удивлением». *В марте 1611 г. Галилей поехал в Рим.* Кардинал Беллармин, в саду которого он демонстрировал солнечные пятна, обратился с вопросом к иезуитам и, между прочим, к Клавиусу, и никто в то время не отрицал нового явления. Галилей приобрел себе новых друзей в Риме, и *Академия деи-Линчеи, избрав его сочленом, стала энергично действовать в его пользу.* Но именно эта горячая защита новых воззрений приобрела им много врагов, и число последних увеличилось в следующем году. Великий герцог Тосканский любил собирать вокруг себя ученых и слушать их беседы о естественных науках. На одном из таких собраний коснулись, между прочим, мнения перипатетиков, будто плавание тел в воде зависит преимущественно от их формы. Галилей не только высказался тотчас против такого взгляда, но и написал в соответствующем духе трактат о плавающих телах, содержание которого нам уже известно. Это первое печатное опровержение Аристотеля озлобило перипатетиков более всех его устных заявлений. *Винч, ди Грация, Люд, делле Коломбе, Корезио и Пальмерини* выступили с печатными возражениями против галилеевского трактата; и хотя Галилей предоставил защиту своему другу и ученику *Кастелли*, тем не менее, все нападки продолжали обращаться против него лично, так как ответные опровержения приписывались учителю, а не ученику. Со стороны церкви поход против новых открытий был начат доминиканцами; патер Каччини в 1614 г. обличал великогерцогского математика в самой Флоренции, причем начал проповедь следующими сло-

88 ЗАПРЕЩЕНИЕ ЦЕРКОВЬЮ УЧЕНИЯ КОПЕРНИКА

вами («Апост. деяния», 1, II): «Галилеяне, что вы стоите и взираете на небо?»

В одном из трех писем, которые Галилей писал Вельзеру в Аугсбург по поводу солнечных пятен, он открыто высказался в пользу движения земли. Письмо появилось в 1618 г. в печати. Оно указало противникам, куда следует направить свои стрелы; все нападки, не имевшие до той поры надлежащей опоры, обратились теперь против признания Галилеем системы Коперника. Галилея защищал частным образом *Кастелли*, а публично — кармелитский монах *Фоскарини* и августинец *Дидакус а Стуника*, которые единогласно заявляли, что в библии нельзя найти доводов против движения земли; то же утверждал на свою беду и Галилей в нескольких своих письмах. Он дерзнул вступить в заповедную теологическую область, чем он особенно раздражил своих клерикальных противников¹ и дал им в руки вернейшее оружие против себя. Так или иначе, с *этих пор борьба сосредоточилась на библейском вопросе.* Галилей считал нужным снова отправиться в Рим в сентябре 1615 г., чтобы лично защищать там систему Коперника и обратить внимание высшего духовенства на то, что церковь своей оппозицией против неопровержимой истины наносит себе же страшный вред. Он был очень любезно принят папою Павлом V, и влиятельные духовные лица, в том числе кардинал Орсини, как будто согласились с его доводами. Но Галилей ошибся, веря в достижение своей цели; 5 марта 1616 г. Конгрегацией Индекса были воспрещены все книги, в которых говорилось, что движение земли не противоречит священному писанию. Печатное письмо Фоскарини (*Lettera sopra l'opinione del Pittagorici e del Copernico della mobilita della terra e stabilita del Sole*) от 1615 г. было подвергнуто запрещению, а сочинение Коперника и трактат Дидакуса были запрещены до очищения их от всех мест, заключавших в себе превратные воззрения. Имя Галилея не упоминалось в декрете; он даже получил 26 мая по своей просьбе свидетельство от кардинала Беллармина, где говорилось, что *Галилей не отрекся от своего учения и не был подвергнут церковному покаянию, а был только извещен о постановлении священной конгрегации и о запрещении учения Коперника.* По совету великого герцога Тосканского, который считал его дальнейшее пребывание в Риме небезопасным, Галилей вернулся в июне во Флоренцию и жил здесь спокойно до 1623 г., храня, в силу запрета конгрегации, молчание относительно движения земли. К сожалению, он не удержался от участия в споре, возникшем в другой области, — споре, озлобившем всех приверженцев Аристотеля из самых влиятельных членов иезуитского ордена. Именно, в 1618 г. были замечены три кометы, по поводу которых иезуит Орацио Грасси написал трактат. Ученик Галилея *Гвидучи* в 1619 г. опроверг его взгляды в «*Discorso suite Comete*», где рука учителя была настолько ясно видна, что Грасси обратился с возражениями прямо к Галилею. Последний, к ужасу своих друзей, не смолчал, но ответил в своем «*Saggiatore*»

¹ *Wolf* (Geschichte der Astronomie, стр. 247) сообщает, что Газенреффер, преданный друг отца Кеплера, убеждал последнего не печатать ничего такого, где бы система Коперника не была выставлена простой гипотезой, и избегать всякого упоминания о библии.

ДЕ ДОМИНИС. ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ 89

Теория комет, изложенная здесь, не лучше теории Грасси, но изложена она была до такой степени изящно и с таким блестящим полемическим талантом, что возбудила общий интерес и сочувствие. Иезуиты, и особенно Грасси, пришли в ярость, и если они не могли добиться запрещения брошюры, зато тем тверже решили погубить смелого и победоносного противника.

Общее оживление в области физики в начале XVII в. проявилось и в оптике. *Теория цветов* послужила предметом многих изысканий, сначала на основе воззрений древних, а затем и более самостоятельных. *МАРК АНТОНИЙ ДЕ ДОМИНИС* отвел вопросу о цветах значительное место в своем сочинении: «*De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus*» (Венеция, 1611). Он делит цвета на два разряда: на истинные или постоянные, присущие телам, и на кажущиеся или мнимые, которые сообщаются телам лишь известными световыми лучами и вновь исчезают вместе с последними¹. Доминис не сомневается, что мнимые цвета присущи самому свету и даже являются самым светом. Белый цвет, по его теории, как и по аристотелевской, окрашивается, смешиваясь с темнотой, но, не угасая вполне. *Когда белый свет проходит сквозь призму, к нему примешивается более или менее темноты от вещества призмы, смотря по толщине проходимого им слоя призмы.* Вот почему нижний луч, ближайший к преломляющему ребру, по прохождении своем имеет наиболее яркий свет, именно красный, а луч, проходящий сквозь самую толщу призмы, имеет наиболее темный цвет, именно синий. Несмотря на то, что этой теории недостает математической определенности и что опровержение ее крайне просто, она в свое время имела некоторое значение и привела непосредственно к объяснению цветов *радуги*.

Де Доминис подвешивал стеклянные шары, наполненные водой так, чтобы солнечный свет падал на их переднюю поверхность, и заметил, что цвета можно видеть не только позади шара, но и в том случае, если смотреть на него в косвенном направлении спереди кверху, как представлено на рисунке. Это явление он объясняет следующим образом: лучи, падающие на переднюю поверхность шара и преломляющиеся в направлении к задней поверхности, не все проходят сквозь последнюю; часть их отражается вниз и после повторного преломления вновь выходит из шара на его передней поверхности. При этом луч, выходящий из нижней части шара, пробегает внутри него наименьшее расстояние, стало быть, получает наименьшую примесь темноты и кажется красным; между тем как другие лучи, которым приходится проходить внутри шара более и более длинные пути, постепенно темнеют. Когда солнце освещает дождевые капли, свет видоизменяется совершенно так же, как в шаре, и мы получаем от одной капли красный цвет,

¹ *Франциск Агвилониус* (1566—1617) написал в 1615 г. большой фолиант только об одном прямолинейном распространении света. Он проявляет мало знакомства со значительными открытиями таких современников, как Кеплер, но зато обогащает виды цветов еще третьим разрядом интенциональных цветов. Такие цвета появляются, например, на изображениях в *Camera obscura*. Они постольку мнимы, поскольку не принадлежат самим телам, но отличаются от мнимых (призматических) цветов тем, что источником их служит нечто окрашенное.

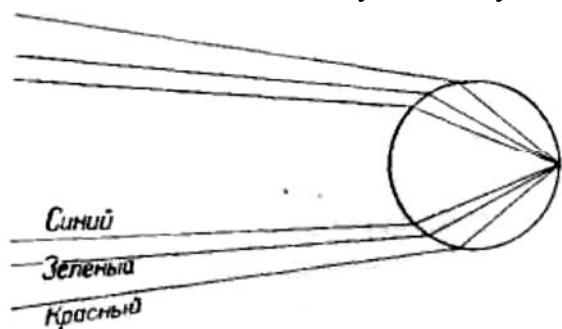
90 «ДИОПТРИКА» КЕПЛЕРА

от другой зеленой и т. д. А так как те же условия повторяются в небе на дугах, окружающих точку, противоположную солнцу, то мы видим концентрические цветные круги, общим центром которых является упомянутая точка. Де Доминис применил, таким образом, весьма успешно старую теорию происхождения цветов к объяснению главной радуги. Идти далее он, разумеется, не мог при незнании законов преломления и зависимости цветов от углов преломления. Так, *определить радиусы концентрических дуг или величину радуги он не мог, а относительно побочной радуги он имеет даже совсем превратные понятия.*

Насколько де Доминис мог воспользоваться трудами предшественников при своем определении хода световых лучей, остается нерешенным. Важнейшее руководство по этой части, сочинение Теодорика¹, было ему, невидимому, незнакомо, скорее, в его руки мог попасть трактат Флейшера². Сравнительно с последним, он имеет, однако, ту заслугу, что он придумал наглядный опыт, соединив отражение и преломление луча в одной капле. Впрочем, в данный период времени такое воззрение высказывалось уже не раз; так, например, англичанин *Гарриот* в 1606 г. объяснял радугу преломлением света на выпуклой и отражением его на вогнутой стороне капли.

Де Доминис родился в 1566 г., поступил в молодых годах в иезуитский орден и достиг сана архиепископа Спалатрского. В этом сане он был обвинен в наклонности к протестантизму и выпущен из инквизиционной темницы лишь под строжайшими угрозами. Переселившись затем в Англию, он жил там в звании декана виндзорского до 1622 г., когда обещание кардинальской шляпы побудило его вернуться в Рим и отречься от протестантизма. Его, однако, вскоре вновь заподозрили в ереси и заключили в тюрьму, где он при неизвестных обстоятельствах и умер в 1624 г.

«lo. KEPLERI Dioptrice, seu demonstratio eorum quae visui et visibilibus propter conspicienda non ita pridem inventa accidunt» (Аугсбург, 1611). Открытие зрительной трубы послужило, по-видимому, для Кеплера поводом к новым оптическим исследованиям главным образом по части преломления света чечевицами. *И на этот раз он не пришел к точному закону преломления; но приближения к последнему, которые были уже указаны им в «Paralipomena», оказались достаточными, чтобы, хотя частично разрешить вопрос о расстоянии изображений и фокусных расстояний у чечевиц.* Кеплер при своем исследовании принимает в расчет только чечевицы, имеющие дугу не свыше 30°. А так как при определении фокуса принимаются во внимание только лучи, параллельные оси, то максимальный угол падения ($\chi = \omega$) у него не превышает 15°; принимая для таких малых углов пропорциональность между углами падения и преломления, Кеплер не впадает в слишком большую ошибку.



Черт. 4.

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел второй.

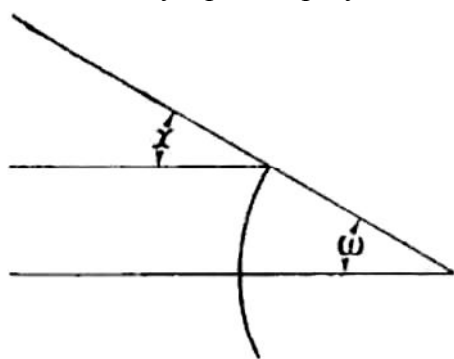
² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА 91

Он начинает с *определения фокусного расстояния параллельных лучей для выпуклой сферической поверхности* и находит ее равной $1\frac{1}{2}$ поперечникам последней; затем фокусное расстояние *вогнутой сферической поверхности* оказывается равным ее поперечнику¹. Отсюда непосредственно следует, что *фокусное расстояние плосковыпуклой стеклянной чечевицы должно быть равно поперечнику шаровой поверхности, а для симметричной двояковыпуклой чечевицы он находит фокусное расстояние равным радиусу поверхностей*. Расстояние изображения (т. е. место соединения лучей, исходящих из одной точки) для подобной линзы известно ему только для случая, когда светящаяся точка удалена от чечевицы на длину диаметра; дальше этого ему пойти не удалось. Фокусных расстояний для других чечевиц, кроме плоско- и двояковыпуклых, он не определил. Закон преломления приводит Кеплера к открытию и объяснению *полного внутреннего отражения света*. Именно он нашел, что преломленный луч при переходе из воздуха в стекло с плоской поверхностью не может в стекле отклоняться более чем на 42° от перпендикуляра, хотя бы углы падения имели все возможные величины от 0° до 90° . Переменив условия на обратные, он заключает, что ни один луч, отклонившийся в стекле более чем на 42° от перпендикуляра, не может уже выйти из стекла и, далее, что каждый такой луч на границе обеих сред должен будет вернуться в стекло, т. е. подвергнуться полному внутреннему отражению.

Теорию преломления лучей в чечевицах Кеплер переносит на *зрительные трубы* и дает не только *первое объяснение голландской зрительной трубы*, но и *проект новых более сильных приборов того же рода*. Он отмечает, что если лучи, выходящие из собирающей чечевицы, будут перехвачены посредством другой вогнутой линзы раньше их соединения, то они вновь делаются расходящимися и дают увеличенное субъективное изображение предмета, посылающего свои лучи на собирающее стекло.

Изучив подробно голландскую зрительную трубу, он делает множество проб с различными комбинациями чечевиц и, наконец, *составляет проект зрительной трубы с двумя, а позднее и с тремя двояковыпуклыми стеклами*. По поводу первой (так называемой кеплеровской или астрономической зрительной трубы) он замечает: «Объективное стекло пусть находится на таком расстоянии, что получаемое от него обратное изображение отдаленных предметов будет неясно вследствие сильного расхождения лучей, выходящих из каждой точки предмета. Если же между этим неясным изображением и глазом поставить второе собирающее стекло, притом вблизи изображения, то излишнее расхождение лучей, направленных в глаз, будет уничтожено чечевицей окуляра, и в результате получится отчетливое изображение.



Черт. 5.

¹ Само собою разумеется, что во всех случаях принимается в расчет переход света из воздуха в стекло; постоянное отношение угла падения к отклонению принимается равным 3:1.

92 ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА КЕПЛЕРА

Ближайшая к наблюдателю чечевица увеличивает изображение, получаемое от первой, не изменяя его обратного положения». К сожалению, у самого Кеплера не было ни времени, ни средств, а быть может, и охоты, осуществить свой план на деле; описанная им зрительная труба так и осталась на бумаге. Любопытно, что в письме от 18 декабря 1610 г. Кеплер уже обращает внимание своего корреспондента на необходимость выбирать для объективов чечевицу больших размеров, чем чечевица окуляра, в противном случае понадобится диафрагма. Сверх того, он считает необходимым приспособление для выдвигания и укорачивания трубки, чтобы можно было устанавливать стекла по глазам; до этого стекла зачастую оправлялись в свинцовые трубки, длина которых не поддавалась изменению.

Диоптрика Кеплера имеет по преимуществу математический характер. Соображений о природе света в ней почти не встречается, вопреки обычной щедрости автора по части идей. Даже теория цветов, о которой он трактует в «*Paralipomena*», здесь оставлена без внимания. Дело в том, что Кеплер — *гениальный наблюдатель и глубокий математик* — был *односторонен*; ему *недоставало подготовки в области здоровой хорошо разработанной натурфилософии*, и этот недостаток невыгодно отразился даже на таком великом уме. Им была выработана научная основа диоптрики; его закон преломления впервые позволил проследить ход лучей даже после их преломления, и сам он для многих случаев определил закономерность этих путей, преодолевая при этом большие трудности. И, тем не менее, здесь, как и в небесной механике, ему был поставлен известный предел: дальнейшее математическое определения явлений он не мог сделать ни одного успешного шага.

ПАТЕР ШЕЙНЕР, который в некоторых вопросах может быть назван преемником Кеплера, занимался, подобно ему, астрономическими и оптическими исследованиями, оставаясь, однако, далеко позади Кеплера во всех отношениях. Шейнер родился в Вальде близ Миндельгейма в Швабии в 1575 г. Двадцати лет от роду он поступил в орден иезуитов, преподавал еврейский язык и математику в Ингольштате, Оренбурге и Риме и умер в звании ректора иезуитской коллегии в 1650 г. Его оптические исследования напечатаны в двух сочинениях. Первое, под заглавием: «*Oculus, hoc est fundamentum opticum*» (Иннсбрук, 1619) посвящено преимущественно теории зрения. Второе, «*Rosa Ursina* ¹ sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius» (Браччьяно, 1630) заключает в себе ряд точных наблюдений над солнечными пятнами и солнечными факелами и сверх того описание новой зрительной трубы, устроенной Шейнером по мысли Кеплера.

Шейнер изучал преломляющую силу различных жидкостей глаза, причем, не зная еще закона преломления, он определял углы преломления градус за градусом. По его мнению, хрусталик своей преломляющей способностью мало отличается от стекла, а водянистая влага

¹ Солнце уподобляется здесь розе, прилагательное же Ursina объясняется тем, что книга посвящена герцогу Браччианскому из рода Ursi.

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕЙНЕРА 93

глаза — от воды; стекловидная же влага занимает середину между ними. Рассуждая о том, где именно может происходить процесс зрения в глазу, Шейнер, подобно Кеплеру, останавливается на сетчатке. В одном отношении он, впрочем, идет дальше его, именно — *он вырезывает сзади на бычачьем и телячьем глазу все оболочки до сетчатки и наглядно доказывает, что изображения внешних предметов получают на последней.* Имеются указания, что он повторил свой опыт в Риме на человеческом глазе. Происхождение прямых изображений в нашем сознании он объясняет по примеру Кеплера; но сверх того дает очень остроумное доказательство перекрещивания лучей, проходящих через узкое отверстие, подобное зрачку; если рассматривать пламя свечи сквозь булавочное отверстие в бумаге и ввести клинок ножа между глазом и бумагой снизу вверх, то из поля зрения прежде всего исчезает верхушка пламени. Приспособление глаза к различным расстояниям Шейнер объясняет удлинением и укорочением глазной оси, обращая в то же время внимание на расширение и сокращение зрачка.

При своих многочисленных наблюдениях над солнцем патер Шейнер заботился об усовершенствовании способов наблюдения. Первоначально он рассматривал солнце только во время прохождения облаков, затем пробовал защищать глаза цветными стеклами, хотел даже заказать чечевицы из цветного стекла, но, наконец, напал на настоящий путь: вытянув зрительную трубу, направленную на солнце, дальше, чем требовалось для ясного видения, он получил на белом экране, помещенном в темной комнате, изображение солнца с пятнами, которые мог показывать нескольким лицам одновременно. Его соотцам и начальникам на первых порах не слишком понравилось присутствие пятен на солнце. В 1611 г. Шейнер, вследствие приказания своего иезуитского начальника Бузеуса, мог сообщить о своем открытии аугсбургскому астроному Вельзеру лишь под условием анонимности; но позднее «*Rosa Ursina*» была все же с соизволения духовных властей напечатана. Шейнер назвал зрительную трубу, в том виде, как она служила ему для наблюдений солнца, *гелиоскопом*. Прибор этот интересен для физики как *первая зрительная труба с двумя выпуклыми чечевицами*. В «*Rosa Ursina*», отмечается между прочим, что автор «уже 13 лет тому назад» показывал солнечные пятна австрийскому эрцгерцогу Максимилиану при помощи зрительной трубы такого же устройства. Если это так, то Шейнер устроил свой гелиоскоп до 1613 г., или, во всяком случае, до 1617 г., так как печатание вышеназванного сочинения продолжалось в течение 1626—1630 гг.¹ *Шейнер упоминает, впрочем, не только о зрительной трубе с двумя чечевицами, но и о трубе с тремя выпуклыми стеклами, позволяющей видеть предметы в прямом виде, —*

¹ Гартинг в одной брошюре 1867 г. (на голландском языке) пытался оставить за Гансом и Захарием Янсенами хотя бы честь изобретения так называемой астрономической зрительной трубы. Он обращает внимание на заявление Бореля (который приписывает Янсону изобретение длинной зрительной трубы около 1610 г.) и на известный анекдот о детях Янсена, рассказывавших, будто они видели свой флюгер — жестяного петуха — не только увеличенным, но и стоящим вверх ногами (см. *Gerland, Bericht. über die wissenschaftlichen Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung, 1876*, стр. 45).

94 ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

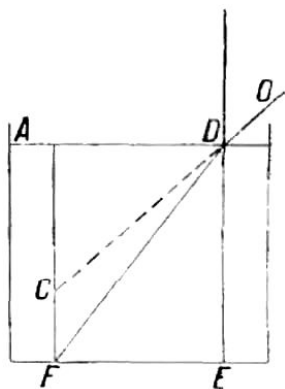
обстоятельство, имеющее значение при рассматривании земных предметов. О *микроскопе* Шейнер отзывался с восторгом, который легко понять, если патер действительно видел то, что описывает: муху величиной в слона, а блоху — равной верблюду.

Шейнер не был выдающимся физиком; ему недоставало инициативы гениального ума. Его оптика с теоретической стороны опирается на Кеплера, объяснения которого он в большинстве случаев повторяет. Но во всех своих исследованиях патер оказывается точным наблюдателем, и его искусство в этом отношении нередко превосходит его способность объяснять явления. Может быть, поэтому его следует признать первым представителем грядущих поколений.

Открытием закона преломления заканчивается на несколько лет ряд оптических открытий, ознаменовавших начало XVII в. *ВИЛЛЕБОРД СНЕЛЛИЙ*, которому принадлежит честь этого открытия, был сыном лейденского математика Рудольфа Снеллия. Он родился в 1591 г. и умер в 1626 г. в Лейдене, где с 1613 г. занимал кафедру механики, доставшуюся ему после смерти отца. Короткой тридцатипятилетней жизни было ему, однако, достаточно, чтобы обессмертить свое имя в области математики и физики. В течение 1615 — 1617 гг. Снеллий окончил первое *измерение земной окружности по единственному надежному методу*. Именно, посредством триангуляции он измерил расстояние от Алькамара до Лейдена и Бергена-оп-Цоома и определил дугу меридиана в $1^{\circ}11'30''$ длины. В трактате «*Eratosthenes Batavus*» (Лейден, 1617) были обнародованы в высшей степени утомительные вычисления (употребление логарифмов было еще неизвестно), при помощи которых он для одного градуса меридиана нашел длину в 28 473 рутов (рейнских), или 55 100 туазов. Снеллий сам открыл ошибки в своих измерениях и вычислениях, но преждевременная смерть не позволила ему их исправить. Мушенбрек из уважения к его памяти проверил все его (вычисления и нашел для одного градуса меридиана 29 514 рутов, или 57 033 туазов.

Снеллий сам не опубликовал своего оптического открытия закона преломления. Трактат, в котором он изложил его, остался ненапечатанным; но *Гюйгенс* упоминает об этом трактате в своей диоптрике, а *Исаак Фосс* в сочинении «*De natura lucis*» (1662) говорит определенно, что сын Виллеброда Снелли показывал ему это сочинение, состоявшее из трех книг. Из отзыва Гюйгенса видно, что Снеллий выражает закон преломления совершенно правильно с фактической стороны, но в несколько неудобной форме. Если глаз, находящийся в O , будет видеть точку F , лежащую в более плотной среде, например в воде, в направлении линии OCD и если мы проведем перпендикуляр FCA к преломляющей поверхности AD , то для одной и той же среды отношение между действительным лучом падения DF и кажущимся CD будет постоянно. Линии CD и DF будут относиться между собой, как косекансы углов, образуемых преломленным и падающим лучом с вертикальной линией DE . На основании таких рассуждений Снеллий дал своему закону следующее выражение: *в одних и тех же средах отношение косекансов углов падения и преломления остается постоянным*. Так как отношение косекансов двух углов обратно пропорционально

отношению их синусов, то этот закон вполне соответствует форме, данной ему впоследствии Декартом и сохранившейся до наших дней. Мы вернемся к нему при рассмотрении научной деятельности Декарта. Первый философ нового научного направления *ФРЕНСИС БЭКОН* родился 26 января 1561 г. в Лондоне, где отец его занимал высокое звание хранителя государственной печати. Молодой Бэкон учился в Кембридже, занимаясь преимущественно древней философией: затем для дальнейшего образования отправился с английским посольством в Париж, откуда принужден был вскоре вернуться вследствие смерти своего отца. Получив незначительное наследство и не умея довольствоваться малым, он впал в долги, вследствие которых он всю жизнь оставался жертвой кредиторов. Желая нажить побольше денег, Бэкон сделался сначала адвокатом и своими талантами в короткое время приобрел громкую репутацию. Честолюбие толкало его, однако, к видным местам на государственной службе и к приобретению политического влияния. Для достижений этой цели он пускал в ход всевозможные средства: льстил, насколько мог, королеве Елизавете, обращался с просьбами к своему дяде, государственному канцлеру лорду Берлею, успел войти в милость графа Эссекса, но, невзирая на все усилия, ему не удалось добиться желаемого, пока была жива Елизавета. В 1598 г. он даже был на недолгое время посажен в долговую тюрьму. Два года спустя Эссекс впал в немилость, и Бэкон, получивший место королевского стряпчего, должен был составить обвинительный акт против него. На этот раз он выполнил неприятную задачу с таким искусством, что Елизавета смягчилась. Вскоре Эссекс был заподозрен в изменнических переговорах с королем Яковом Шотландским и по обвинению генерал-прокурора Кока и королевского стряпчего Бэкона казнен 25 февраля 1601 г. Человек с более твердым характером мог бы отклонить от себя роль обвинителя в этом процессе, несмотря на занимаемый им пост, и потому образ действия Бэкона возбудил против него общее негодование. Несмотря на это, он в короткое время успел приобрести расположение того же короля Якова, сделавшегося в 1603 г. английским королем после смерти Елизаветы, и уже в 1604 г. получил рыцарское звание. В 1605 г. вышло в свет первое сочинение Бэкона, касавшееся, между прочим, и естественных наук, под заглавием «*The two books of Francis Bacon on the proficiencie and advancement of learning divine and human*». Его честолюбивые мечты начали затем осуществляться с поразительной быстротой: в 1607 г. он был назначен главным стряпчим, в 1615 г. — главным прокурором, а в 1617 и 1618 гг. достиг высших должностей, доступных английскому подданному — был сделан хранителем государственной печати и, наконец, лордом-канцлером. Между тем, в 1612 г. Бэкон успел издать новое научное сочинение «*Cogitata et visa*», но затем он подверг его переработке, которая была закончена в 1620 г. Теперь эта книга появилась под новым заглавием: «*Novum organon*»



Черт. 6.

96 ЖИЗНЬ И СОЧИНЕНИЯ БЭКОНА

scientiarum», в виде одной из частей обширного труда «*Instauratio magna*», посредством которого Бэкон предполагал преобразовать все науки, построив их на новом основании. Вышедший том «*Instauratio magna*» заключал в себе *посвящение* Якову 1, *предисловие* ко всему труду, а также *план всей работы*. По программе вся работа должна была состоять из *шести частей*. *Первая предназначалась общему обзору всех наук и их подразделению*, причем предполагался не только перечень всего уже достигнутого, но указания на недостающее. *Вторая часть должна была быть посвящена орудию всех наук*, т. е. применению разума при исследовании явлений, и правильным методам познания. *Третья должна была содержать в себе изложение явлений вселенной*, т. е. всякого рода наблюдений и естественную историю, поскольку последняя может служить основанием для вновь создаваемой философии. *Четвертая книга должна была на отдельных примерах показать соотношение между второй и третьей частью работы*, т. е. методы применения нового орудия науки к выводу общих законов из опытного материала. *Пятая книга предназначалась для изложения всех выводов этого рода*, поскольку позволит имеющийся в руках автора материал. Наконец, *шестая часть должна была явиться завершением всех возможных выводов*, т. е. должна была *завершить собою науку*.

Из приведенного ясно, что Бэкон не имел в виду выполнить одними собственными силами намеченной им задачи. Его план представляет собой, очевидно, схему, по которой должны быть изложены как все имеющиеся уже результаты, так и результаты, могущие быть добытыми со временем. Впрочем, он далеко не достиг и тех пределов своей исполинской задачи, которые он, по-видимому, сам себе поставил. В 1620 г. появилась, сверх указанного выше плана всего сочинения, только вторая часть его «*Novum Organon*». Первая часть вышла в 1623 г. под заглавием «*De dignitate et augmentis scientiarum*»; но это было старое сочинение 1605 г., переведенное на латинский язык и лишь отчасти дополненное. Наконец, после смерти Бэкона его секретарь Роулей издал еще третью часть под заглавием «*Silva silvarum sive historia naturalis*». Таким образом, сочинение это осталось незаконченным.

С появлением в печати своего капитального труда Бэкон достиг вершины своей славы. В том же году ему был пожалован титул барона Веруламского, а в следующем — виконта Ст. Альбанского. Однако уже в апреле 1621 г. он был привлечен к суду Верхней палатой и признал себя виновным во всех обвинениях. Именно, Бэкон сознался, что, будучи главным судьей, он принимал от тяжущихся сторон подарки до 1000 фунтов стерлингов, уверяя, впрочем, в свое оправдание, что он никогда не принимал вознаграждения до решения дела и что подарки никогда не влияли на его решение. Парламент приговорил Бэкона 3 мая 1621 г. к денежному штрафу в 4000 фунтов стерлингов, лишению всех должностей и тюремному заключению, срок которого, по тогдашнему обычаю, определялся волей короля. Король сократил этот срок до 2 дней, а в 1624 г. Бэкон настояниями и просьбами добился помилования. Однако ему не пришлось наслаждаться им продолжительное время. Здоровье его постепенно ухуд-

РАЗЛИЧИЕ СУЖДЕНИЙ О БЭКОНЕ 97

шалось, и 9 апреля 1626 г. он умер в замке графа Аронделя в Гайгете, близ Лондона.

Бэкон — человек сомнительного характера. Много спорили и еще будут спорить о том, как понимать это загадочное сочетание добра и зла в его личности и за какой из этих сторон следует признать перевес. Но разногласия о характере Бэкона пустяк по сравнению с расхождением во взглядах на научные заслуги этого загадочного человека Ланге¹ находит в нем *суеверное и тщеславное невежество*. Либих возводит та него тягчайшее обвинение, которое только можно сделать человеку науки: *«природа, наделившая его с такой щедростью своими лучшими дарами, отказала ему в чувстве истины и в правдивости*. С ложью в сердце подходил он к природе, и она не открывала ему своих тайн, не повиновалась ему. Его опыты могли обмануть людей, но перед ее лицом не могли иметь успеха. В роли естествоиспытателя все в нем оказывалось поддельным»². С другой стороны, Бэкона превозносят как научное светило, *lumen scientiarum*³, как человека, *великого во всех отношениях*⁴, и даже Либих признает, «что биографы и большинство писателей, изучавших сочинения Бэкона, считают его *противником схоластики, реформатором науки, основателем нового метода исследования* и новой философии эмпиризма, или философии полезности». «По их мнению, — продолжает он, — *его имя по истечении веков все еще сияет блестящей звездой, указавшей некогда правильный путь и истинную цель наук*».

Где же тут правда и в чем следует искать причину столь резкого различия взглядов? Постараемся изложить вкратце сущность бэконовского учения и тогда мы увидим, что *различие мнений* в значительной степени зависит от *различия точек зрения*, на которых стоят судьи; и далее, что крайние приговоры в ту или другую сторону грешат неверной оценкой исторической роли Бэкона и состояния современной ему науки.

Бэкон исходит из мысли, что наука (он имеет в виду главным образом схоластику) зачахла и в течение целых столетий оставалась бесплодной, между тем как механические искусства, точно исполненные духа жизни, с каждым днем множатся и совершенствуются. Из первоначально грубых и неуклюжих они постепенно улучшаются и становятся все удобнее для человека. Напротив, философия и высшие науки, хотя и пользуются почетом, подобно иконам, но не продвигаются вперед ни на шаг». Корень и единственную причину этого зла Бэкон видит «в ложном преувеличении сил и способностей человеческого разума и в пренебрежении к его действительным средствам познания». «Тонкость природы неизмеримо превосходит тонкость наших чувств и нашего ума. Увлекательные теории, умозрения и доказательства, придуманные человеком — не что иное, как болезненные проявления». «Логика, которой теперь злоупотребляют, способствует

¹ Ланге, История материализма.

² Liebig. Rede in der öffentl. Sitzung der königl. Akademie d. Wissensch. Мюнхен, 1863.

³ Надгробная надпись (Poggendorf, Gesch. der Physik, стр. 222).

⁴ Fischer, Gesch. der. Physik, т. I, стр. 30.

98 ВЗГЛЯДЫ БЭКОНА НА ДЕДУКТИВНЫЙ И ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОДЫ

скорее укреплению заблуждений, скрытых в ходячих понятиях, чем раскрытию истины». *«Для познания истины возможны два пути. На одном из них человек быстрым полетом переносится от чувственного и единичного к самым общим положениям из таких высших положений, как из непреложных истин, выводит средние положения. Этому пути следуют в наши дни. Второй путь идет от единичного и чувственного к частным положениям, постепенно поднимается выше и выше и, в конце концов, приводит к общему закону. Этот вернейший, но еще никем не испробованный путь».* Этот второй путь целиком основывается на наблюдении. *«Наблюдение, бесспорно, наилучшее из доказательств, пока оно не отступает от прямых результатов опыта».* «Наблюдение, которое попадаетеся нам навстречу, случайность; наблюдение, которое мы ищем и находим сами, — опыт или эксперимент». Только эксперимент пригоден для изыскания истины. «Подобно тому, как действительный характер человека всего вернее обнаруживается, когда его раздражают и вызывают, или подобно тому, как Протей начинает свои превращения только, когда он пойман и сжат в крепких объятиях, — так и природа при умелом воздействии открывает свои тайны полнее, чем предоставленная себе самой»¹. К тому же обыкновенное наблюдение при посредстве наших чувств очень ненадежно. «Несостоятельность наших чувств бывает двоякого рода: они или изменяют нам по своей слабости или вводят нас в заблуждение». «На этом основании я оказываю мало доверия непосредственному свидетельству моих чувств, но ставлю дело так, чтобы мои чувства давали мне отчет только об опыте, а уже опыт — о самом явлении». Следовательно, прежде всего *«необходимо создать хорошую естественную историю и достаточный запас опытных данных для построения основ работы: не следует ничего измышлять, ничего придумывать; нужно только наблюдать и изучать природу».* «Равным образом ум отнюдь не должен переноситься или перелетать непосредственно от частного и единичного к самым общим и отдаленным выводам, носящим название законов искусств и вещей, причем истинность этих положений ставится вне сомнений и из них выводятся и строятся средние положения». «Науки будут хорошо построены лишь о том случае, когда мы, стоя на прочной лестнице, станем подниматься от одной ступени к другой, без перерывов и скачков, — от единичных явлений к простейшим умозаключениям, затем, далее, к средним и, наконец, к самым общим положениям». «Вот почему человеческому уму нужны не крылья, а свинцовая гиря, задерживающая какие бы то ни было полеты и скачки. До сих пор он не находил себе тормоза; а когда найдет — для науки откроется более отрадная будущность». «При выводе теорем путем такой индукции необходимо испытывать и проверять, ограничивается ли данное положение теми единичными явлениями, из которых оно выведено, или же оно имеет более широкое применение. В последнем случае нужно исследовать, подтверждается ли больший объем или более широкие пределы положения свидетельством новых единичных явлений,

¹ De augmentis scientiarum.

ОЦЕНКА ЗАСЛУГ БЭКОНА 99

дабы не оставаться неподвижно на уже известном или же, распространив положение далее, чем следует, не попасть в круг призраков и бессодержательных теней вместо реальных и определенных фактов».

До сих пор Бэкон, безусловно, прав. С блеском и решительным успехом побивает он старые схоластические науки на всех путях и закоулках, исключая их из области знания. Всем наукам он предписывает экспериментальный метод и заставляет признать опытное исследование основой всякого знания; мало того, он доказывает убедительно и неопровержимо, что опытное исследование должно служить не только основанием, но и постоянным коррективом всякого научного прогресса. Возможно ли, казалось бы, отрицать такие заслуги, такие деяния? Между тем, *Либих именно здесь открывает обман со стороны Бэкона, выдающего все эти правила за нечто новое и им открытое, тогда как в действительности экспериментальный метод применялся и рекомендовался задолго до него, а схоластика давно уже находилась в загоне.* «Поход Бэкона против схоластики напоминает сражение знаменитого рыцаря с ветряными мельницами. Сто лет назад наукой уже были разбиты цели схоластики; на всех наречиях превозносили опыт, Леонардо да Винчи в Италии и Парацельс в Германии ратовали в пользу опыта за пятьдесят лет до Бэкона, а в его время — Гильберт и Гарвей в Англии»¹. На наш взгляд, однако, *Либих заходит слишком далеко, отрицая всякую заслугу Бэкона в области экспериментального метода.* Его заслуга заключается, во-первых, в том, что именно он, а не кто другой, советует применять индуктивный метод не только к естественным наукам, а ко всей вообще области человеческого знания; во-вторых, сами философы признают в нем основателя нового философского направления, а это уже слава не малая и, во всяком случае, такая, которую не может у него отнять ни один натуралист. В этом смысле Галлер замечает²: «Сравнивать Бэкона с Галилеем совершенно неправильно; последний был, бесспорно, лучшим математиком и астрономом, но зато он ограничивался немногими науками»³; Бэкон, напротив, обнимал умом все науки вместе как существо высшего порядка и как никто до него». Ибервег (Ueberweg, Gesch. d. Philos., III, стр. 37, 5-е изд.) признает Бэкона «основателем, правда, не опытного естествоведения, но опытного направления в развитии новой философии». Наконец, Льюис⁴ замечает: «Бэкон, слабый в положительных науках, был силен в философии, искавшей в этих науках пищу для себя. Ему первому принадлежит мысль о философии положительных наук, — мысль, которую он формулировал словами: физика — мать всех наук».

Мы, однако, вовсе не склонны ограничивать заслуги Бэкона одной философией; историку ясно, убеждены мы, что он сделал чрезвычайно много и для естествознания. Нет сомнения, экспериментальный метод давно уже горячо рекомендовался для физики — стоило только

¹ Liebig, Rede etc., Мюнхен, 1863.

² Согласно Böhme, Francis Bacon etc. Эрланген, 1864.

³ С этим мы, конечно, согласиться не можем.

⁴ Нем. перев., „Gesch, d. Philos.“, т. II, стр. 130.

100 ОЦЕНКА ЗАСЛУГ БЭКОНА

вспомнить об однофамильце и соотечественнике Бэкона, жившем в XIII в.; вполне правильно также, что Леонардо да Винчи и Парацельс уже в предшествующем столетии признали экспериментальный метод единственно верным, а земляки и современники Бэкона, Гильберт и Гарвей (1589—1657), пользовались им с блестящим успехом; неоспоримо, наконец, — заметим мы со своей стороны, — что Галилей и Кеплер раньше всех других применили опытное исследование с полным сознанием его ценности; но, несмотря на все это, заслуги Бэкона отрицать нельзя. Относящиеся к данному вопросу сочинения Роджера Бэкона и Леонардо были почти никому не известны; Парацельс и подобные ему не принадлежали к разряду лиц, которых рекомендация могла бы послужить на пользу какому-либо делу; а то обстоятельство, что гениальные физики пользовались этим методом, далеко еще не приводило к общему признанию его, и тем менее к общему пониманию его важности. Кафедры физики в большинстве университетов продолжали быть занятыми перипатетиками с хорошими денежными окладами; не слишком давно натурфилософы были еще настолько сильны, что могли вытеснить Галилея из университета, и мало еще было в то время молодых ученых, умевших производить опыты. Когда Гарвей замечает, что Бэкон писал о науке, как подобает лорд-канцлеру, мы противоречить ему не станем; но именно то обстоятельство, что человек, пользовавшийся такой репутацией в науке, горячо осуждал старые, схоластические философские приемы, оказало несомненную услугу естествознанию и естествоиспытателям. *На мой взгляд, Бэкона можно, не обинуясь, признать одним из основателей нового естествознания, даже в том случае, если видеть в его деятельности не столько создание, сколько выявление и популяризацию научного метода.*

Большого Бэкону, однако, приписывать не следует, несмотря на его обширные притязания. В самом деле, лично он вовсе не желает ограничиться ролью популяризатора метода, существовавшего до него; нет, он преподносит естествознанию новый метод, и полемизирует горячо не с одними только схоластиками, но и с эмпириками, производившими опыты раньше него. Бэкон слишком философ для простого оставления эксперимента в полном распоряжении любого натуралиста. Он должен преподавать вполне точную, общую, пригодную для всех случаев программу, как в дальнейшем следует развивать естественные науки. Он сулит открыть метод, по которому всякий будет способен продвигать науку. *«Мой способ научных изысканий таков, что оставляет мало простора остроте и силе ума; напротив, он уравнивает умы и склонности. Подобно тому, как для проведения прямой линии или начертания правильного круга от руки необходимы ловкость и навык, а при употреблении для той же цели линейки и циркуля эти свойства становятся почти или же совсем излишними, так и при моем методе».* По мнению Бэкона, до него у естествоиспытателей не было никакого метода; если они и производили опыты, то бродили и при их проведении и при разработке добытых результатов, ощупью, впотьмах, безо всякой путеводной звезды. *«Теперешний способ опытного исследования следует назвать слепым и вздорным. Люди толкуются на неведомых путях, делают выводы из первых попавшихся явлений, бросаются на многое,*

ПРАВИЛА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ У БЭКОНА 101

не двигают вперед почти ничего, бывают то заносчивы, то рассеянны и всегда оставляют позади себя что-либо, к чему необходимо возвращаться. Опыты вследствие этого производятся легкомысленно, как бы для забавы: старые повторяются почти без изменения, и при первой неудаче раздосадованный наблюдатель обыкновенно бросает их. В тех же случаях, когда к исследованию приступают серьезнее и с большой выдержкой и рвением, — вся сила расходуется на выполнение одного опыта, чему примером может служить Гильберт со своим магнитом и химики со своим золотом».

«Такого рода наблюдение напоминает веник без связки или ходьбу ощупью в ночное время, когда приходится ощупывать всякий предмет, прежде чем удастся случайно напасть на настоящий путь. Не лучше ли подождать рассвета или зажечь свечу и тогда уже спокойно выходить на дорогу». «Все доселе работавшие в области науки — эмпирики или догматики. Первые собирают и потребляют наподобие муравьев; вторые же, начинающие прямо с разума, вытягивают содержание из себя самих, как пауки паутину. Между теми и другими стоят по своему образу действия пчелы: они собирают сок, перелетая от одного цветка к другому в садах и лугах, но обрабатывают и переваривают добычу собственными силами. Деятельность философии аналогична пчелиной: она не опирается исключительно или даже преимущественно на силы души и не накапливает материала, доставляемого ей естествознанием и механическими экспериментами, в памяти без всяких изменений, а напротив, она перерабатывает и видоизменяет его умом». Подобные правила, бесспорно, очень хороши и должны на все времена служить основными законами научного метода. *Жаль только, что действия самого Бэкона не вполне сообразовались с этими правилами*, как мы это покажем при дальнейшем знакомстве с ним.

«При громадном числе единичных данных и их разрозненности, — что сбивает ум с истинного пути, — нельзя, разумеется, ожидать результатов от простого констатирования фактов, поверхностных опытов и обзоров. Напротив, необходимо тщательно собирать все относящееся к одному предмету и распределять материал систематически в таблицы, которые по своей наглядности и целесообразному устройству подобны живым существам». Таблицы эти составляются по следующему способу. Если мы хотим изучить сущность или, по Бэкону, форму какого-либо явления, например теплоты, то записываем все известные случаи, при которых наблюдается теплота; таким образом получается *таблица положительных инстанций*. Затем каждому отмеченному случаю противопоставляем сходные случаи, при которых теплота отсутствует; из них складывается *таблица отрицательных инстанций*. Так как, далее, во всех случаях присутствия теплоты последняя может проявляться в весьма различных степенях, то мы должны составить еще третью таблицу для отметок по этому предмету — *таблицу сравнения, или степеней*. В этих трех таблицах содержится материал для *индукции в собственном смысле*. Первая работа индукции будет состоять в исключении всех случаев, не имеющих необходимой связи с сущностью изучаемого явления, и в подборе всех прочих, определяющих эту сущность. В нашем примере требуется исклю-

102 ПРИМЕР: ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ

читать все явления, наблюдаемые в отсутствии теплоты или отсутствующие там, где проявляется теплота, а равно — те случаи, когда явление усиливается по мере уменьшения теплоты, и обратно. Соединяя затем вместе все записи, оставшиеся после исключения, мы получаем сущность теплоты, выраженную в необходимых определениях, и таким образом заканчиваем *первый ряд выводов*. Последними не исчерпывается, однако, индукция в ее законченной форме. На указанной ступени она дает в лучшем случае сущность одного только явления; бэконовский метод сулит довести нас постепенно до самых общих оснований всех наук. *Между тем на проверку выходит, что и сам Бэкон принципиально не следует далее по этому пути; он указывает только на дальнейшие и весьма многочисленные вспомогательные средства и правила для индукции, рядом с массой зачастую интересных указаний относительно обработки «наиболее важных» случаев, встречающихся в практике индукции.*

На этом и обрывается «*Novum Organon*», неоконченная часть большого сочинения «*Instauratio*», которому гоже было суждено остаться неоконченным.

Приводим для примера таблицы Бэкона для первого ряда умозаключений в возможно сокращенной форме.

Таблицы для исследования формы теплоты.

Таблица положительных инстанций	Таблица отрицательных инстанций
<i>Теплыми бывают:</i> 1. Солнечные лучи, преимущественно летом и в полдень. 2. Отраженные и сближенные солнечные лучи (например в зажигательных зеркалах). 3. Огненные атмосферные явления. 4. Зажигающие молнии. 5. Пламя, вырывающееся из кратеров гор. 6. Всякое пламя. 7. Все раскаленные тела. 8. Горячие источники. 9. Нагретые жидкости.	1. Лучи луны, звезд и комет не дают ощущения теплоты. 2. Солнечные лучи не греют в так называемых средних воздушных областях. 3. Падающие звезды и северное сияние не дают тепла. 4. Зарницы не дают тепла. 5. Огнедышащие горы встречаются в теплых и холодных странах. 6. Болотные огни, повидимому, содержат мало тепла. Относительно так называемого огня св. Эльма ничего не известно. 9. Все жидкое под конец охлаждается; едкие жидкости при первом прикосновении тоже холодны.

10. Горячий пар и дым.
11. Горячие ветры.
12. Воздух в подземных пещерах зимой.
13. Шерсть, мех и оперение птиц (содержат некоторую теплоту).
14. Тела, находившиеся некоторое время близ огня.
15. Искры от кремня.
16. Натертые тела.
17. Зеленая сжатая трава.

18. Жженая, sprыснутая водой известь.
19. Железо, растворенное в едкой воде.
20. Животные, особенно во внутренних частях.
21. Конский помет и свежие экскременты.

Наподобие теплоты действуют:

22. Купорос на холст.
23. Майерановое масло на зубы.
24. Крепкий спирт.
25. Ароматические травы.
26. Уксус и кислоты на члены, лишенные кожицы.
27. Сильные холода на осязание.
28. Многое другое.

10. Пары масел легко воспламеняемы, но не теплы.

11. Северные ветры холодны.

13. Причина этого тепла в точности неизвестна: переходит ли она от живого организма, или же она зависит от маслянистой поверхности, или, наконец, от замкнутости воздуха.

17. Необходимы более точные наблюдения. Зеленая трава содержит, повидимому, немного скрытого тепла, не могущего улетучиться, когда она спрессована.

19. Свинец в крепкой водке и золото в царской водке не дают тепла.

22. Купоросное масло наощупь сначала холодит.

25. При внутреннем употреблении ароматические травы дают ощущение еще большего тепла.

27. Действие тепла и холода имеет много общего; так, холод подобно огню, предохраняет мясо от гниения.

104 ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПЕРВОГО УМОЗАКЛЮЧЕНИЯ

Таблица степеней.

Твердые тела, а также вода не бывают теплы от природы, но получают теплоту от других тел; впрочем, некоторые тела, бывшие некогда теплыми, сохраняют остатки тепла, например конский помет и жженая известь. Ни одна часть животного не сохраняет заметного тепла после отделения от тела; некоторые, впрочем, содержат возможную или скрытую теплоту, например трупы животных. *«Сверх того, на Востоке употребляют мягкую тонкую ткань из птичьих перьев, которая своим внутренним теплом способна размягчать и растапливать завернутое в нее масло».* Низшая степень теплоты, доступная осязанию, есть, по-видимому, теплота животных; между тем *некоторые люди сухого телосложения уверяли, будто во время горячки тело их разгоралось до того, что посторонние, прикасаясь к ним, слегка обжигались.* Из светил теплее других оказывается Солнце, Марс, Юпитер, Венера, Сириус; они наиболее сильно греют, когда лучи их падают отвесно; сверх того действие планет сильнее при их ближайшем отстоянии от земли, а также, вероятно, когда они находятся вблизи больших неподвижных звезд. Из пламен спиртное следует признать самым мягким, если, впрочем, теплота болотных огней и свечение животного пота не ниже его по степени теплоты. Сильнейший жар получается от смолы, дегтя и еще более от серы. Раскаленные тела бывают иногда горячее пламени; кипяток и воздух внутри печи в несколько раз жарче пламени. Движение усиливает теплоту; по этой причине твердые металлы не плавятся на спокойном мертвом огне, а только на приводимом в движение мехами. Пламя образуется лишь в тех случаях, когда оно находит пространство для своего развития; исключение составляет пороховое пламя при выстреле и др. В пористых горящих телах пламя гаснет тотчас же, если задержать его движение сильным давлением. Раздражающим действием холода тепло усиливается, как это можно наблюдать, приближаясь к камину в сильный мороз. Из всех тел наиболее легко воспринимает теплоту воздух; он также и отдает ее всего быстрее телам; за воздухом следует в этом отношении лед, снег и ртуть ¹.

Таблица исключения.

Ввиду наличия солнечных лучей и подземного огня теплота по природе своей не может быть ни небесной, ни земной. Так как тела, сообщаящее тепло другим, не уменьшаются в весе, то следует отвергнуть какой-либо переход вещества при нагревании. Так как и темные тела способны греть, то свет не составляет необходимого условия для теплоты. Так как все тела нагреваются от трения, то существование самостоятельного теплового вещества этим исключается. По различным причинам из числа источников тепла следует исключить и движение тела как целого.

Отсюда следует *первое умозаключение*, определяющее сущность теплоты: *«теплота есть расширяющее движение, которое задержи-*

¹ Ср. в ч. I, о соответствующих воззрениях Аристотеля.

ОШИБКИ БЭКОНА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИМ ЕГО МЕТОДА 105

вается и проявляется в мельчайших частицах тел. Если бы можно было возбудить внутри какого-либо тела движение, стремящееся к его расширению и растяжению, а затем это движение так стеснить и обратить против самого себя, чтобы расширение совершилось неравномерно, т. е. частью происходило, частью было вытеснено, то в результате, несомненно, получилась бы теплота».

Немного, надо признать, было добыто Бэконом после стольких усилий по вопросу о природе теплоты! Если, однако, принять во внимание легкомысленно набранный материал и подчас возмутительно ложные данные, с которыми он имеет дело, то нельзя не удивиться, как он вообще мог придти к сравнительно верному определению теплоты. *Физик, способный пролагать новые пути в науке, должен быть хорошим экспериментатором, хорошим математиком, хорошим философом. Бэкон же был только последним; опытное исследование оставалось для него почти неведомой областью, а математика — совсем чуждой.* В качестве философа он ясно видел бесплодность старого, чисто дедуктивного метода; и в своей критике человеческого познания, чувств и разума он действительно является мыслителем, создающим эпоху. Требуя от всех наук, чтобы они начинали с опыта и строились на основе опыта, называя всякую попытку человеческого ума вырваться за пределы опыта вредной для науки (болотным огнем, а не настоящим светочем), он, несомненно, заслуживает титула основателя новой философской науки и является в известном смысле *предшественником нашего теперешнего философского критицизма.* С другой стороны, как только Бэкон сам начинает применять свой метод к естествознанию вообще и к физике в особенности — односторонность его становится очевидной, а его указания и примеры — никуда не годными, подчас даже смешными. Провозглашая основой всего естествознания опытное исследование, он своим личным отношением к нему невольно заставляет сомневаться, делал ли он сам вообще какие-либо опыты. Его секретарь Роулей усердно собирал для него материал, и сам он брал, что попадалось, но собранные сведения, к сожалению, не всегда оказывались надежными и достоверными. Как истый юрист, Бэкон внимательно выслушивал все показания за и против, но сам часто забывал проверять правдивость показаний своих свидетелей. В разработке материала нас поражает его блестящий ум; его выводы порой оказываются полезными даже для естественных наук — даже здесь его выручало верное чутье, но он, как уже было замечено, не всегда руководился им. «По моему убеждению, — замечает Бэкон про самого себя, — никто из занимавшихся доселе изучением природы не заботился более меня при выборе опытов и сведений. Я допускал только факты, опирающиеся на очевидность и проверенные точными опытами, да и то с большим разбором. Ничего не позволил я себе прикрасить или преувеличить из пристрастия к чудесному, и все сообщенное мною чисто от всякого пятна вымысла и тщеславия. При каждом новом и сложном опыте я, невзирая на глубокую уверенность в правильности результата, приводил подробно и весь ход исследования, дабы каждый, следя за происхождением моих данных, мог убедиться, не вкралась ли какая-либо ошибка, и чтобы,

106 НЕДОСТАТКИ МЕТОДА БЭКОНА

таким образом, по мере возможности умножилось число наилучших и вернейших доказательств».

Если, таким образом, первый недостаток Бэкона — ошибочное констатирование фактов — зависит лишь от неверного приложения его метода, то второй, несравненно более серьезный, лежит в самом методе. Бэконовский метод должен быть по своей идее чисто индуктивным; он, поэтому представляет собою род простой арифметической задачи, в которой от данного целого постепенно отбрасывается все несущественное с целью получить в остатке сущность явления. *В этом методе нет места для гипотез;* а между тем новейшее естествознание пользуется гипотезами в широких размерах и с блестящими результатами. Мы предполагаем, например, что свет есть волнообразное движение эфира; выводим из этой гипотезы все свойства, которые подобное волнообразное движение должно иметь; и когда затем посредством тщательно произведенных опытов мы убеждаемся, что свет действительно обладает всеми требуемыми особенностями, то полагаем свою гипотезу весьма вероятным или достоверным научным выводом. Всякая гипотеза в области естествознания приобретает большую или меньшую достоверность, смотря по тому, можно ли вывести из нее путем дедукции большее или меньшее число новых положений, доступных опытной проверке. *Исключая гипотезу из своего метода, что вполне естественно при полном и принципиальном отрицании дедукции,* Бэкон тем самым устраняет возможность наилучшего использования опытного наблюдения. В этом заключается *существеннейшее отличие новейшего естественнонаучного метода от бэконовского,* а также и *существеннейший недостаток последнего.* Непонятно даже, как мог Бэкон впасть в подобную ошибку, ибо ведь такие великие физики, как Гильберт и Галилей, с трудами которых он был знаком, уже решительно и вполне сознательно вступили на этот новый, верный путь. Извинением ему может служить лишь то обстоятельство, что для него, как философа, опытное исследование не могло быть привычным орудием и что *сильнейшая из дедуктивных наук, математика, была ему, по-видимому, совершенно чужда.* Гипотеза вообще немыслима без дедукции, так как из гипотезы приходится выводить положения, которые должны быть проверены на опытах. С другой стороны, наиболее надежная дедукция, это — математическая; там, где мы из гипотезы вывели математически законы, определяющие количественные отношения явлений, а затем имели возможность убедиться в полном согласии выведенного с действительно наблюдаемым, там мы смело приписываем гипотезе математическую достоверность, хотя по существу следовало бы лишь говорить об очень значительной ее вероятности. Бэкон приступил к науке одаренным сильным философским умом и значительной склонностью к наблюдению, *математического же понимания он был, можно сказать, совершенно лишен.* Этим одним и объясняются его ошибки. Примером для применения своего метода он случайно или сознательно выбрал теплоту — ту область физики, где математика могла играть наименьшую роль; если бы он не держался, как кажется, преднамеренно в стороне от оптики и механики, недостатки его плана стали бы очевидными для него самого. Вообще,

НЕЗНАКОМСТВО БЭКОНА С МАТЕМАТИКОЙ 107

к этого рода знаниям он, по-видимому, был мало способен. Так, будучи знаком с термометром в его грубой зачаточной форме и даже описывая способ приготовления этого прибора, он интересуется лишь чувствительностью воздуха к теплоте, но об измерении ее не говорит ни слова. Везде, где ему приходится говорить о движении, он и не пробует определить скорость, время и пространство в каких-либо единицах меры, но либо довольствуется (например, в своем «Novum Organon») курьезнейшим подразделением разных видов движения, или предлагает (например, в трактате «De augmentis scientiarum») изучать, какие тела приводятся в движение тяжестью, какие легкостью и, наконец, какие не поддаются влиянию ни одной из этих причин. Насколько Бэкон был чужд всякого представления о надежности, доставляемой совпадением математических дедукций с действительными наблюдениями, явствует из его суждений о Копернике. В разделе Organon'a, в котором упоминается о Копернике, он говорит об астрономах, «которые любят насиловать свои чувства безо всякой надобности и затемняют дело». А еще раньше в одном из своих трактатов он относит Коперника к числу людей, «которые при изучении природы не останавливаются ни перед какими вымыслами, если только последние совпадают с их расчетами». Если смотреть на вопрос с этой стороны, то можно до известной степени понять резкость отзыва Дюринга¹, что Франциск Бэкон не обладал ни математическим складом ума, ни способностью точного мышления. «Он был только проповедником, так сказать, осязательного эмпиризма, быть может, уместного для описательных естественных наук, но отнюдь не для механического или физического исследования. Он не имел никакого представления о значении и важности математического и созидательного мышления. *В действительности все высшее естествознание только потому и развилось, что оно никогда не впадало в искушение следовать рецептам английского лорд-канцлера*».

Однако и подобные суждения заходят слишком далеко в своей односторонности и несправедливы по отношению к Бэкону. Во-первых, не следует забывать, что некоторые отрасли физики, и, прежде всего оптика, изучались в то время слишком односторонне, исключительно с математической точки зрения, и что именно в данной области требование внимательного наблюдения явлений природы могло притязать на новаторство. Во-вторых, значение, которое Бэкон придает индуктивному методу как таковому, и настойчивость, с которой он рекомендует этот метод для всех наук вообще, составляет неоспоримую его заслугу. Естественным же наукам в частности следует помнить, что Бэкон своей решительной защитой их метода, без всякого сомнения, способствовал скорейшему признанию и широкому распространению последнего. В этом отношении мы вполне согласны с мнением Льюиса²: «Хотя его метод и не имел той силы, которую ему с такой уверенностью приписывал Бэкон, тем не менее, его красноречие и плодотворные идеи имели огромное влияние на современное ему и после-

¹ Dühring. Geschichte der, allgemein. Principien d. Mechan., 2-е изд. стр. 103—104.

² Lewes, Geschichte. der Philosophie, II. стр. 128.

108 ДИАЛОГИ О ДВУХ СИСТЕМАХ ВСЕЛЕННОЙ. ДЕНЬ ПЕРВЫЙ

дующее поколение. Он облагородил новое научное направление и научил людей «гордиться исследованиями, которые в противном случае оставались бы в тени. Он доказал бесплодность субъективного метода и настаивал на необходимости терпеливого изучения природы. Блеск его слога придавал неотразимую увлекательность его доводам».

В 1616 г. при папе Павле V ГАЛИЛЕЮ, как нам уже известно, было дано знать, что учение Коперника противно св. писанию; вследствие чего он и воздерживался от всяких рассуждений на эту тему. Но в 1621 г. Павел V умер, и его вторым преемником сделался в 1623 г. Урбан VIII, тот самый кардинал Барберини, который за три года до того восхвалял Галилея в латинских стихах. Узнав о восшествии на престол своего доброжелателя, обрадованный Галилей поспешил в Рим, и действительно был принят настолько любезно, что даже получил обещание пенсии для сына. После такого приема Галилей ободрился и счел возможным приняться за окончание своего сочинения о системах вселенной. В течение 1628 и 1630 гг. он был дважды в Риме, и уже при первой поездке отдал свой труд на суд духовных цензоров. В 1630 г. он получил разрешение печатать его, и римское общество Dei Lincei, издавшее галилеевского «Saggiatore», охотно взяло бы на себя издание нового произведения, если бы, по несчастью, в это время не умер основатель и президент общества, князь Чези. С его смертью дело затянулось; а с 1631 г., когда, вследствие чумы в Тоскане, папа окружил свои владения пограничным кордоном, печатание книги в Риме стало невозможным. Она была издана во Флоренции в 1632 г. под заглавием: «*Dialogo di Galilei Linceo, Matematico supremo dello studio di Padova e di Pisa, d filosofo e matematico primario del serenissimo Granduca di Toscana, dove nei congressi di quattro giornate, si discorre sopra i due massimi sistemi Tolemaico e Copernicano del mundo*». В этом сочинении проводится сравнение между системами вселенной Птолемея и Коперника в форме беседы, продолжающейся четыре дня. В беседе участвуют, с одной стороны, друзья Галилея Сагредо и Сальвиати в качестве сторонников коперниковой системы, а с другой — перипатетик философ Симплиций, защитник птолемеевой системы. Беседа происходит в доме Сагредо. *Первый день посвящен опровержению учения перипатетиков.* Между движениями земных и небесных тел нет различия; напротив, земные тела, как и небесные, должны совершать круговое движение (мнение, высказанное уже Коперником). Действительно, существование вселенной было бы немыслимо, если бы все движения не приводили тел вновь к их исходной точке. С точки зрения неизменяемости и неразрушаемости тоже нет различия между небесными телами и замлей: во-первых, потому, что все изменения земных тел ограничиваются незначительными изменениями на поверхности земли; во-вторых же, потому, что и самое небо не представляет безусловного постоянства: кометы, например, появляются на небе и вновь исчезают, также и пятна на солнце, а в 1572 и 1604 гг. появились даже новые светила, принадлежащие к отдаленнейшим неподвижным звездам. Нет никакой необходимости, чтобы земля покоилась в центре вселенной; мы видим только, что все земные тела стремятся к центру земли, и если мы заключаем

ДЕНЬ ВТОРОЙ, ТРЕТИЙ И ЧЕТВЕРТЫЙ 109

отсюда, что они движутся в направлении центра вселенной, то мы утверждаемое вводим в состав доказательства. Мировые тела могут и не быть строго шарообразными, так, например, луна имеет неровную поверхность.

Из наличия светлых и темных пятен на луне мы, однако, не в праве заключить о существовании здесь морей; в противном случае на луне было бы заметно образование облаков. Луна постоянно обращена к земле одной и той же стороной, что, *вероятно, происходит вследствие магнитного притяжения последней*. Слабый вторичный свет, которым весь лунный диск освещен перед новолунием и после него, происходит от отраженного землей солнечного света (а не прямо от солнечного света, просвечивающего якобы сквозь прозрачную луну); день продолжается на луне месяц; времен года там нет вовсе; жаркий пояс занимает там не более 10°; воды там нет, вследствие чего органическая жизнь, похожая на нашу, там невозможна; *однако мера нашего знания не является мерой существующего*.

Предметом беседы второго дня служит вращение земли вокруг оси, причем старое воззрение опровергается частью доводами Коперника, частью же новыми, собственными. Ни одно земное тело не движется по прямой линии; кажущаяся прямолинейность движений зависит только от того, что мы не замечаем собственного движения. Нет никакой необходимости, чтобы центробежная сила сбрасывала с поверхности земли дома и людей, так как *сила эта тем слабее, чем больше радиус кругового пути*; при величине же земного радиуса достаточно силы тяжести для противодействия центробежной силе. Вселенная делится на движущуюся и неподвижную часть, причем *для явления безразлично, которой из двух частей приписать движение*. Планеты двигаются тем медленнее, чем они дальше от солнца. Сатурн, например, совершает свой круговой путь в 30 лет; вот почему правильнее считать сферу неподвижных звезд находящейся в полном покое, чем приписывать ей суточное обращение.

Движение земли вокруг солнца составляет предмет рассуждений третьего Дня. Галилей защищает это движение доводами Коперника, но только делает поправку относительно принимаемого последним третьего движения земли, в силу которого земная ось должна неизменно сохранять параллельное себе положение. *Ось вращения и без вмешательства посторонней силы остается постоянной в каждом свободно движущемся теле*; например, если положить деревянный шар на поверхность воды в лохани и двигать этот сосуд, то шар не следует за этими движениями, а сохраняет неизменно свое первоначальное положение относительно стен комнаты.

Беседа четвертого дня посвящена объяснению приливов и отливов в связи с движением земли; это, впрочем, слабейшая из всех теорий Галилея, и мы на ней останавливаться не будем.

Галилей полагал, что поступает предусмотрительно, указав в своем предисловии ¹, что данное сочинение вполне согласно с намерениями

¹ По Вольфу («Gesch. d. Astronomie», стр. 255) предисловие это было вынуждено у Галилея верховным цензором доминиканцем Н. Риккарди.

110 ИНКВИЗИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ГАЛИЛЕЯ

церковных владык и даже полезно для их целей. *Тем не менее скоро разразилась жестокая буря против новой защиты Коперника.* Пизанский профессор философии *Киарамонти* (1565—1652) написал резкое возражение против новой книги; перипатетик *Клод Беригард* (1578—1663) утверждал, что Галилей вложил в уста Симплиция далеко не самые веские доводы против движения земли; в Риме подкапывались под него *иезуиты Грасси и Шейнер* со всем рвением личной ненависти; и наконец, кто-то сумел изменить доброе расположение папы, убедив его, что Галилей высмеял его самого, изобразив его под видом Симплиция. В Риме была назначена комиссия для расследования дела, состоявшая из отъявленнейших перипатетиков, и для участия в ней был, между прочим, вызван в Рим пизанский профессор Киарамонти. Комиссии был представлен прежний протокол увещания Галилея кардиналом Беллармином, на котором неожиданно оказалась надпись, *будто Галилею было определено запрещено считать учение Коперника правильным или защищать его под угрозой кар св. судилища, и что Галилей, выслушав такое решение, будто бы смирился и клятвенно обещал повиноваться*¹. После этого было вполне естественно обвинить Галилея в нарушении постановления 1616 г. и представить его на суд инквизиции. В ноябре 1632 г. его действительно вызвали в Рим, и как ни возмущался великий герцог Тосканский Фердинанд II, но этот двадцатидвухлетний юноша не сумел оказать должного сопротивления папе. Больной Галилей был вынужден отправиться в путь 20 января 1633 г. и прибыл в Рим 13 февраля, выдержав на границе папских владений двухнедельный карантин. Он остановился сначала у тосканского посла Никколини (который вообще, пренебрегая личной опасностью, пускал в ход все доступные ему средства для защиты и облегчения участи своего друга); но 12 апреля Галилей был заключен в инквизиционную тюрьму, откуда, впрочем, в виду болезненного состояния его выпустили через две недели. *Наконец, 21 июня Галилей был вновь вызван в суд, оставался весь день и ночь в инквизиционном помещении, а на другой день был переведен в доминиканский монастырь Alla Minerva, где его заставили на коленях отречься от всех своих заблуждений*².

¹ Галилей постоянно отрицал факт такого обещания, и так как приведенное место протокола не скреплено никакими подписями, то подлог становится в высшей степени вероятным (*Wolf*, «Gesch. der Astronomie», стр. 255).

² Формула отречения была следующая: «Отрицаю, презираю, и проклинаю от чистого сердца и с нелицемерным убеждением все названные заблуждения и ереси, а равно и все другие противные св. церкви заблуждения и еретические секты. Клянусь впредь ни устно, ни письменно не утверждать ничего, могущего бросить на меня подозрение в чем-либо подобном; в случае же встречи с еретиком или подозреваемым в ереси обязуюсь указать на него св. судилищу или инквизитору и епископу того места, где буду находиться. Сверх того, обещаю и клянусь выполнять в точности все эпитемии, которые наложены на меня св. судилищем или будут им впредь назначены. Если бы случилось, что я когда-либо преступил (от чего да избавит меня господь) данные мною теперь обещания, обязательства и клятвы, то готов подвергнуться всем эпитемиям и карам, которые назначены для подобных преступников определениями св. канонов и других общих и частных конгрегаций: да поможет мне в этом господь бог и св. евангелие, на которое возлагаю руки».

ОСУЖДЕНИЕ ГАЛИЛЕЯ. ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ЕГО ЖИЗНИ 111

Что происходило в ночь с 22 на 23 июня в здании инквизиции с 69-летним больным стариком, вероятно, навсегда останется тайной. Нет никакого сомнения, что ему грозили пыткой; но пытали ли его на самом деле — это спорный вопрос, которым в последнее время много занимались, но окончательно не разрешили. *Вольвилль* (Zeitschr. f. Mathematik und Physik, XXIV Jahrg., 1879) высказывается по этому поводу следующим образом: *разоблачения Сильвестра Герарди выяснили с полной достоверностью, что 16 июня 1633 г. папой и конгрегацией было принято решение подвергнуть Галилея под угрозой пытки так называемому Examen de intentione, и если он будет упорствовать в своем отрицании единомыслия с Коперником, то отправить его для дальнейшего дознания в отделение пыток. Текст сентенции вполне точно указывает на то, что в силу папского постановления Галилея отправили в камеру пыток. С другой стороны, акты ватиканской рукописи, которые, в противоположность декрету и прямому смыслу приговора, свидетельствуют, будто 16 июня был издан приказ ограничиться лишь угрозами пытки и будто с этим приказом и сообразовались при ведении дела, — эти акты, на основании и внутренних и внешних соображений возбуждают сильные подозрения в их позднейшей подделке.*

Кроме отречения от своих заблуждений, Галилей был приговорен к тюремному заключению. Последнее было, однако, тотчас же заменено домашним арестом в Villa Medici, а вскоре затем пребыванием в епископском дворце в Сиене. 8 июля он прибыл к епископу Пикколомини, своему приятелю, 18 декабря 1633 г. он был переведен в виллу Беллосгардо близ Флоренции, и, наконец, 19 ноября 1634 г. — в виллу на Монте-Ривальто в церковном приходе Аччетри. *Здесь Галилей умер 8 января 1642 г. от изнурительной лихорадки.* До последних дней он находился под бдительным надзором инквизиции, которая следила за его жизнью и научными работами. Ему было запрещено собирать у себя научные и музыкальные общества, устраивать многочисленные обеды или увеселения. О том, что происходило на инквизиционном суде, он был обязан хранить безусловное молчание, и, разумеется, боялся нарушить это обязательство. Даже смерть не примирила церкви с ним; на его могиле не было произнесено надгробной речи; его тело не позволили поместить в семейном склепе Галилеев, и с трудом согласились дать ему место в часовне, примыкающей к церкви, да и то под условием, что там не будет ни памятника, ни надгробной надписи.

Здоровье Галилея сильно расстроилось в последние годы. Начиная с 1616 г., он постепенно терял слух, а с 1637 г. у него на обоих глазах начал образовываться катаракт, вследствие чего он уже с 1639 г. не мог сам писать, а лишь диктовал; в 1640 г. он окончательно лишился зрения. При все том, Галилей никогда не оставался праздным. Так как инквизиция воспретила ему занятия астрономией, то он вновь обратился к физике и начал приводить в систему свои открытия в области механики. *В 1634 г. вышла в свет его механика во французском переводе Мерсенна, а в 1638 г. — наиболее выдающееся его произведение «Discorsi e dimostrazioni».* Немалым мужеством со стороны Мерсенна было издать сочинения Галилея спустя два года после поразившего его приговора инквизиции. В Италии было категорически

112 УЧЕНИКИ ГАЛИЛЕЯ. ИЗДАНИЯ ЕГО СОЧИНЕНИЙ

воспрещено печатать какое бы то ни было новое сочинение Галилея или переиздавать прежде напечатанное. Поэтому последний труд его не мог быть напечатан на родине. В посвящении «Discorsi e dimostrazioni» графу Ноайльскому (французскому посланнику в Риме) Галилей говорит, между прочим, что хотел разослать несколько рукописных экземпляров в разные места, чтобы его труд не погиб в случае, если нельзя будет осуществить его издание. А самому графу, посетившему его в Арчетри, он передал одну из копий в тех же видах, когда в 1638 г. неожиданно получил письмо от знаменитых лейденских Эльзевиров с предложением напечатать «Discorsi» и с просьбой прислать посвящение. Таким образом книга и появилась первоначально в Лейдене. Верен ли этот рассказ или только придуман с целью оправдать Галилея в глазах инквизиции, сняв с него ответственность за издание книги, остается нерешенным.

Из бывших учеников к Галилею осенью 1638 г. был допущен его давнишний друг *Кастелли*, так как опасались близкого конца больного старца. Ему было позволено в присутствии инквизиционного стража сообщить Кастелли свои незаконченные исследования, за исключением тех, которые имели какое-либо отношение к движению земли. Летом 1639 г. *Вивiani* тоже получил позволение посетить Галилея, а в октябре 1641 г. того же добился и *Торичелли*. Эти два ученика вместе с сыном Галилея Винченцо и представителями инквизиции стояли у смертного одра великого человека.

Сочинения Галилея многократно перепечатывались и во все увеличивающемся числе экземпляров. В 1636 г. он сам через посредство Миканцио вел переговоры с Эльзевирами об издании полного собрания своих сочинений, но при тогдашних тяжелых обстоятельствах это начинание не удалось осуществить. *Первое издание было напечатано в 1656 г.* стараниями Вивiani при содействии принца Леопольда Медичи у издателя Карло Манолези в Болонье. Оно состоит из двух томов in quarto, причем опасные «Беседы о системах вселенной», разумеется, не вошли в их состав. *Второе издание «Полного собрания сочинений» появилось в 1717 г. в трех томах in quarto во Флоренции* (издателями были Тортини и Франки), но опять-таки без запретных «Бесед». Беседы эти (с приложением формулы отречения) увидели свет лишь в 1744 г., в четырехтомном издании, напечатанном в Падуе. В Милане в 1811 г. вышло «*Полное собрание сочинений Галилея*» в тринадцати томах, а за ним последовало новейшее и лучшее до сих пор: «*Le opere di Galileo Galilei, Prima edizione completa condotta sugli Autentici Manoscritti Palatini* (Флоренция, 1842—1856) издание Альбери¹, заключающее в себе собрание писем Галилея². Из биографов Галилея важнейшие: флорентийский каноник *Герардини* (лично знавший Галилея с 1633 г.), *Вивiani* (1654), *П. Фризи* (1777), *Ягеман* (1783), сена-

¹ Письма от Сагрето, Миканцио, Кавальери, Кастелли и др. к Галилею помещены в Carteggio Galileano inedito con note et appendici per cura di Giuseppe Campori, Модена, 1881.

² В настоящее время имеется лучшее издание, так называемое Edizione nazionale, состоящее из 20 томов, выпущенных под руководством Favaro. (Прим. ред.).

тор Нелли (1793), Тирабоски (1796), Либри (1841), Мартин (1868), Оджиони (2-е изд. 1875) и др.

Из *физических приборов, принадлежавших Галилею*, сохранились до сих пор: два телескопа его работы, стекло объектива, естественный магнит (в арматуре), несколько термометров и микроскоп без стекол (во Флоренции); прибор, показывающий, что тело пробегает по хорде круга и по диаметру в равные времена; телескоп, термометры водяные и воздушные и другой естественный магнит в оправе (в Падуе)¹.

После свыше тридцатилетнего промежутка времени физики снова вернулись к изучению свойств магнита. В 1634 г. появилось сочинение патера КИРХЕРА «*Magnes sive de arte magnetica tripartitum*» в первом издании, и уже в 1641 г. последовало второе издание. Кирхер в своем трактате указывает *способ измерения силы магнита*: он подвешивает магнит к одной чашке весов и уравнивает его на другой леском; затем приводит магнит в соприкосновение с куском железа и определяет, сколько нужно прибавить песка, чтобы оторвать железо от магнита. Этим способом, по его замечанию, можно сравнивать силу южного и северного полюса, а также решать вопрос о пользе арматуры магнита. Кирхер наблюдал, что магнит с одинаковой силой притягивает раскаленное и холодное железо: он указывает также способ приготовления магнитных стрелок и компасов. Большую часть его сочинения занимает, однако, *описание магнитных забав и фокусов*, например, *perpetuum mobile*, железного ежа, двух сталкивающихся бараньих голов, и т. д. Тут же указан способ, по которому люди, находящиеся на расстоянии многих миль, могут сообщаться между собою посредством магнитных стрелок. Мысль эта, впрочем, не нова, и Галилей тоже рассказывает об одном человеке, обладавшем секретом подобного телеграфного сообщения, причем, однако, прибавляет, что человек этот не сумел осуществить своего фокуса даже на расстоянии нескольких комнат. Книга Кирхера, несмотря на предшествовавшие работы Гильберта, не имеет существенного значения. Такой оценке не приходится удивляться, прочитав, например, что силу магнита можно значительно увеличить, если его положить между двумя сухими листьями *Isatis sylvatica*. Правда, автор пытается объяснить странное для него самого влияние растения содержанием железа в листьях, тем не менее, одного этого заявления достаточно, чтобы поколебать доверие к научным построениям и точности опытов Кирхера.

Атаназиус Кирхер, имя которого встретится нам еще раз в области оптики, родился в 1601 г. в Гейзе близ Фульды; поступил в 1618 г. в орден иезуитов; преподавал в Вюрцбурге, Авиньоне и, наконец, в Риме философию, математику и восточные языки. Умер в 1680 г. Помимо физических сочинений он известен своими археологическими исследованиями и устройством в Риме музея искусств, носящего его имя (*Museum Kircherianum*).

Вообще Кирхер человек с обширным кругом знаний, но не физик в собственном смысле, и скорее собиратель, чем самостоятельный

¹ Из *Gertand*, *Versuche eines Verzeichnisses der bis auf unsere Zeit erhaltenen Originalapparate*, Leopoldina, H. XVIII, 1882.

ученый. Он до известной степени напоминает Порту. Разумеется, он гораздо образованнее последнего, соответственно уровню века, но зато более многоречив и скучен, подобно многим другим представителям ученого сословия того времени.

Второе сочинение о свойствах магнита принадлежит иезуиту *НИКОЛО КАБЕО*. «*Philosophia magnetica*», напечатанная в Ферраре в 1639 г., тоже не выходит за пределы фактов, указанных Гильбертом, за исключением незначительных частностей. *Магнит по наблюдениям Кабео притягивает ржавое железо слабее чистого*; два магнита в своем действии на кусок железа могут взаимно усиливаться или ослабляться, смотря по сообщенному им положению: *железные иголки, плавающие в воде, поворачиваются в направлении меридиана, даже если они не намагничены*; железные инструменты сами по себе приобретают магнитную силу; между прочим, и железные оконные решетки, стоящие вертикально, мало-помалу становятся магнитами, причем нижний конец соответствует северному полюсу, а верхний — южному. *Если магнит способен поднять два фунта железа, то это не значит, что он сверх одного фунта железа может удержать и один фунт свинца, прикрепленного к железу*. Несмотря на ряд подобных правильных наблюдений явлений магнитной индукции Кабео не сумел найти общей исходной точки зрения для их объяснения: доказательство, что одно только экспериментальное искусство не в состоянии обусловить действительный научный прогресс. *Объяснение электрического притяжения у Кабео несколько нагляднее прежних*. Истечения, исходящие из тел, вследствие трения отталкивают непосредственно прилегающий воздух, который, однако, вследствие сопротивления более отдаленных слоев приходит в вихреобразное состояние, не допускающее дальнейшего распространения истечений и возвращающее их вместе с легкими телами обратно к электрическому телу.

Напротив, *изучение земного магнетизма значительно подвинулось вперед благодаря открытию изменчивости магнитного отклонения в одном и том же месте*. В 1625 г. *ГЕНРИ ГЕЛЛИБРАНД* (1597— 1637 г., бывший сначала пастором в Кенте, а позднее профессором астрономии в Лондоне) провел в одном из лондонских садов полуденную линию, и при помощи длинной магнитной стрелки наблюдал изменения в отклонении, или вариацию, по удержавшейся до сих пор у моряков терминологии. Сличая свои наблюдения с прежними, он нашел, что магнитное отклонение в Лондоне идет на убыль, и заключил отсюда об его изменчивости вообще. Свое открытие Геллибранд напечатал в работе: «*A discourse mathematical on the variation of the magnetic needle*» (Лондон, 1635). Французы еще раньше наблюдали подобное явление, но не обратили на него внимания; в мореходной же Англии открытие произвело огромную сенсацию, а затем вызвало целый ряд точных наблюдений.

Настоящий период был одним из благоприятнейших для магнетизма, а ближайшее знакомство с этой своеобразной силой и ее всеобщее распространение возбуждали живой интерес. Долгое время видели магнетизм в каждом необъяснимом взаимодействии между телами; вскоре, однако, пришлось убедиться, что, невзирая на накопление эмпириче-

ского материала природа этого явления все еще оставалась невыясненной. *Тогда наблюдатели ограничились столь важным для мореплавания исследованием явлений земного магнетизма*, оставив в стороне теоретические построения до тех пор, пока ближайшее знакомство с электрической силой не указало ясно на ее сродство с магнитной.

Роль научного журнала, ученой академии для математики и естествознания играл в первой половине XVII в. «теолог-естествоиспытатель» *МЕРСЕНН*. Он находился в постоянных сношениях с выдающимися учеными своего времени, с Галилеем, Декартом, Гассенди, Робервалем, Гоббсом и др., был посредником при обмене их взглядов, возбуждал и поддерживал общий интерес к научным вопросам. Им был также впервые введен обычай выдачи премий за научные сочинения на известную тему, — обычай, вызвавший столь сильное движение в ученых кружках при великих Бернулли и перенятый затем всеми учеными академиями с некоторыми видоизменениями. *Марен Мерсенн* родился в 1588 г. в Сутиере, в Мэнском округе, воспитывался в иезуитской коллегии La Flèche, поступил впоследствии в орден миноритов и умер в 1648 г. *Не будучи крупным физиком или математиком, он, однако, не только живо интересовался всеми науками, но и оказывал положительные услуги физике разумным ведением опытов и тщательной опытной проверкой теорий великих людей своего времени. Монтюкла (в своей «Истории математики») находит у него «целый океан» наблюдений всякого рода, но не скрывает, что многие из них носят детский характер. Главные сочинения Мерсенна: «Harmonie universelle» (Париж, 1639) и «Phaenomena hydrauliko-pneumatica»*¹. Наиболее выдающимися являются его акустические работы.

Подобно Галилею и Бэкону, Мерсенн ставит *различие тонов в зависимость от различного числа колебаний*, совершаемых звучащими телами в равные времена, и после целого ряда опытов приходит к следующим законам: числа колебаний однородных струн при равных длинах и толщинах относятся между собой, как квадратные корни из их натяжения; при равных толщинах и натяжениях они обратно пропорциональны длинам, а при равных длинах и натяжениях они обратно пропорциональны квадратным корням из их толщин. Из этих законов (из которых, однако в третьем нужно поставить просто толщину вместо квадратного корня) он затем выводит *абсолютное число колебаний для тонов*. Струна в 15 футов длины, натянутая грузом в $6\frac{5}{8}$ фунта, дает 10 колебаний в секунду, отсюда струна в $\frac{3}{4}$ фута длины должна, при прочих равных условиях, давать 200 колебаний в секунду. Тон, издаваемый последней струной, Мерсенн предложил положить в основание всей системы тонов, но его предложение было оставлено без внимания. Другого своего открытия он сам не сумел оценить по достоинству. Именно, он заметил, что одна звучащая струна заставляет звучать и другую даже в том случае, когда последняя отстоит от нее на октаву или квинту, и что таким образом струна способна издавать сверх свойственного ей тона еще два других, высших. Этим *обер-*

¹ Последнее представляет часть обширного сочинения «Cogitato physico-mathematica, Париж, 1644—1647.

тонам не придал значения ни Мерсенн, ни Галилей, наблюдавший то же явление. *Скорость распространения звука* была впервые определена Мерсенном, причем он воспользовался способом, предложенным Бэконом, а именно, он измерил промежуток времени между моментами появления пламени и звука при выстреле из ружья. Этим путем он определил скорость звука равной 1380 футам.

В прочих своих физических исследованиях Мерсенн был менее счастлив. Он проверил *законы качания маятников* и нашел их верными. Затем он захотел убедиться, действительно ли движение маятника при подъеме настолько же замедляется, насколько оно ускоряется при падении, но не смог придти к какому-либо результату. Столь же безуспешны были его опыты *сравнения движения маятника со свободным падением*. Тут он нашел столь большие расхождения, что чуть было не усомнился в правильности галилеевских законов движения; однако, по счастью для себя, он не решился придавать своим цифрам, основанным на довольно грубых оценках, большого значения. Равным образом ему не удалось провести сравнения *между ударом и свободным падением* (в опровержение взглядов Галилея), причем он давал падать телам с разной высоты на чашку весов. Именно он нашел *действие удара пропорциональным произведению веса на простую скорость* (вместо квадрата скорости). Его друг Декарт, введенный в заблуждение этим результатом, тоже принимал указанное выше отношение за общую меру силы. *Изучая движение жидкостей*, Мерсенн пришел к одинаковым выводам с Торичелли (работы которого уже были опубликованы в это время). Впрочем, он правильно заметил, что *водяная струя, вытекающая из сосуда, вследствие сопротивления воздуха не может описывать идеальной параболы; и в том же сопротивлении воздуха он верно угадал причину, почему водяная струя, поднимающаяся вертикально, не может достигнуть первоначального уровня в сосуде*. Далее, сопротивлением воздуха: он объясняет раздробление водяных частиц в водяную пыль, но вместе с тем, точно позабыв о сопротивлении воздуха, утверждает, будто капли дождя падают медленнее одинаковых с ними по весу твердых тел вследствие того, что воздух проникает в жидкие тела, частицы которых не представляют тесного сцепления, между тем как в твердые тела он проникнуть не может.

В своих «*Phaenomena*» Мерсенн еще не имеет понятия о давлении воздуха, а так как *horror vacui* ему не по душе, то он изобретает *теорию крючков, которыми частицы воздуха тянут воду вверх в насосах*. Мысль эта настолько несообразна, что даже в то время не могла встретить какого-либо сочувствия.

Вильде¹ называет *оптические исследования* Мерсенна сухой компиляцией давно известных законов, по большей части без доказательств. Тем не менее, ученый теолог чуть не сделался изобретателем *зеркального телескопа*. В 1616 г. иезуит Никколо Цукки (1580—1670 гг.), глядя сквозь рассеивающую чечевицу в вогнутое зеркало, заметил увеличение отдаленных предметов. В 1644 г. Мерсенн предложил проделать в параболическом вогнутом зеркале отверстие не шире зрачка

¹ Geschichte der Optik, I, стр. 290.

СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ. КАСТЕЛЛИ. ТОРИЧЕЛЛИ 117

и сквозь это отверстие смотреть во второе значительно меньшее вогнутое зеркало; оба зеркала должны были помещаться в трубке с вычерненными стенками для устранения боковых лучей. Декарт, которому он сообщил свой план, дал о нем скептический отзыв, что заставило Мерсенна отказаться от своей мысли.

Прямым преемником Галилея был наиболее выдающийся из учеников его, Торичелли. **ЕВАНГЕЛИСТА ТОРИЧЕЛЛИ** родился в Фаонце 15 октября 1608 г. Его первым учителем математики был Кастелли в Риме, а первое сочинение было вызвано галилеевским «Discorsi». Кастелли показал это сочинение Галилею при одном из своих посещений, вследствие чего тот пригласил молодого ученого приехать к нему и помочь ему при окончании его работ. Торичелли, однако, мог попасть в Арчетри не раньше октября 1641 г. и потому недолго пользовался обществом и указаниями великого человека, в то время уже совершенно слепого. После смерти Галилея он получил место придворного математика во Флоренции, и если когда-либо преемник был достоин гениального своего предшественника, то это имело место именно в данном случае. К несчастью, жизнь, начавшаяся столь блестяще, продлилась недолго: Торичелли умер во Флоренции в 1647 г.

Сочинение, которое Кастелли показывал Галилею, было напечатано в 1641 г. во Флоренции под заглавием: «*Trattato del moto dei gravi*». В 1644 г. оно вышло и в латинском переводе под заглавием: «*De moto gravium naturaliter descendenthim et projectorum libri duo*». В своей работе Торичелли, во-первых, защищает закон Галилея, по которому при свободном падении приобретенные скорости пропорциональны истекшим временам против перипатетиков, утверждающих, что скорости пропорциональны пройденным пространствам; далее он подтверждает галилеевские законы о линиях полета и затем переходит к своим знаменитым исследованиям *об истечении жидкостей из сосудов*. Его учитель Кастелли ¹ еще в 1628 г. издал сочинение «*Della misura dell' acque correnti*», в котором разбиралось движение воды по руслу рек и каналов, а также скорость истечения воды из свободных отверстий. Кастелли правильно определил *скорости жидкостей в естественных каналах обратно пропорциональными поперечному разрезу в соответствующих местах*, но ошибся в том, что принял скорость истечения воды из отверстия сосуда прямо пропорциональной высоте уровня. Торичелли исправил эту ошибку, доказав, что количества воды, вытекающей из отверстия в дне сосуда в равные времена, относятся между собой, как ряд нечетных чисел, если принять количество, вытекающее в последнюю единицу времени, равным единице. Следовательно, скорость истечения убывает обратно пропорционально ряду нечетных чисел, другими словами: скорости истечения относятся между собою так же, как скорости брошенного вверх тела. Отсюда же следует, что *водяная частица вытекает из отверстия со скоростью, равную той, которую она приобрела бы, свободно падая вниз со своей первоначальной высоты над отверстием*. Но так как приобретенные скорости пропорциональны квадратным корням из пройденных путей,

¹ Бенедетто Кастелли родился в 1577 г. в Брешии, был профессором математики в Риме; умер там же в 1644 г.

118 ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА

то скорости истечения не могут быть пропорциональны высотам уровня и пропорциональны лишь квадратным корням из этих высот. Из этого закона путам сравнения с законами свободного падения вытекают дальнейшие «положения: *водяная струя, бьющая из бокового отверстия, имеет форму параболы*; при отверстиях равной величины количества, вытекающие в равные времена, относятся между собой, как квадратные корни из высот уровней; точно так же относятся между собой времена истечения в сосудах с равным поперечником и равным вытечным отверстием; наконец, *из короткой вертикальной трубы, сообщающейся с сосудом, вода должна выбрасываться до той же высоты* (не принимая в расчет других сопротивлений), *на которой она стоит в сосуде*.

Но более всех этих важных открытий прославился Торичелли опытами, доказавшими существование давления воздуха. У него самого не оказалось возможности описать своих исследований, но последние были столь поразительны и так глубоко проникли в общественную жизнь, что имя изобретателя уже не могло быть забыто, оно вскоре приобрело громкую известность даже в широкой публике, вообще мало интересующейся законами механики. Торичелли знал от своего учителя, Галилея, что вода в насосах не может быть поднята выше чем на 32 фута, и был знаком с его взглядами на *horror vacui*. Считая, что дальнейшие опыты с таким высоким водяным столбом трудно выполнимы, а также по ряду других соображений он пожелал выяснить, *не будет ли какая-либо другая, более тяжелая жидкость способна противостоять «боязни пустоты» при меньшей высоте столба*. Всего удобнее для этой цели показалась ему ртуть, которая уже при высоте с 32/13 фута, или в 28 дюймов, должна была уравнивать *horror vacui*, если последний действительно представлял определенную силу, как это думал Галилей. Торичелли сначала не производил этих опытов лично, а поручил это исследование своему ученику Винченцо Вивiani, который, наполнив длинную запаянную с одного конца стеклянную трубку ртутью и опрокинув ее открытым концом в широкий сосуд с ртутью, нашел в 1643 г., *что ртутный столб в трубке, опустившись до высоты 28 дюймов, остался неподвижным*. После такого результата Торичелли взялся сам за производство этих опытов, проявляя при этом поистине гениальную изобретательность. Первый опыт доказывал, по-видимому, не больше того, что давали водяные насосы. *Если вообще для боязни пустот Галилеем была указана граница, то последняя, очевидно, зависела не от определенной высоты, а от определенного давления, и опыт с ртутью не доказывал ничего большего. Но затем Торичелли высказал мысль, что horror vacui, ограниченный пределами, далее которых природа в своем отвращении идти не может, представляет собою чистейший абсурд, и причину поднятия жидкостей в безвоздушных пространствах он приписал непосредственно давлению воздуха*. Вслед за этим он тотчас же приступил к определению величины воздушного давления. На это есть ясные указания в письме его к Риччи (впоследствии корреспонденту флорентийской академии) от 1644 г., где говорится, что опыты были предприняты им не просто для получения безвоздушного пространства, но главным образом в расчете

ИЗОБРЕТЕНИЕ БАРОМЕТРА 119

устроить прибор, способный указывать изменения состояния воздуха, который бывает то тяжелее и плотнее, то легче и реже.

Торичелли, следовательно, успел убедиться, что ртуть изменяет свои уровень и трубке, и это наблюдение по всей вероятности и побудило его заменить боязнь пустот давлением воздуха. Действительно, пока дело ограничивалось тем, что сила, поддерживающая водяной столб в 32 фута, способна удержать и ртутный столб в 28 дюймов, не было никаких поводов изменять прежний взгляд на эту силу. Когда же удалось подметить колебания в величине этой силы, представление об *horror vacui* должно было пасть само собой. Нельзя же в самом деле приписывать природе свойство *капризной кокетки* — *изменчивость в своих симпатиях и антипатиях*, даже в том случае, когда мы допускаем наличие у природы определенного «отвращения»¹. Мы, со своей стороны, должны, однако, заметить, что *хотя мысль о боязни пустот устраняется наблюдением колебания ртутного уровня*, но этим еще не доказывается, что воздушное давление является прямой причиной этого явления. Представление о давлении воздуха для нас теперь настолько естественно, что мы не постигаем самой возможности отрицать его; но для того времени в нем была мудреная сторона, так как дело шло о силе, которая тяготеет над нами и которой мы в то же время не ощущаем. Что же касается колебания воздушного давления, то эта проблема и теперь заключает в себе трудности даже для таких людей, которые полагают, что они раз навсегда покончили с вопросом о давлении воздуха. Торичелли нашел для своих воззрений прочную точку опоры в своих опытах и уже больше к ним не возвращался до ранней своей смерти. Для публики вопрос окончательно выяснился только после того, как Паскаль открыл связь между барометрической высотой и высотой места, а еще более после опытов с *магдебургскими полушариями*, противопоставившими давлению воздуха лошадиные силы.

Нельзя *не удивляться равнодушию*, с которым Торичелли относится к образованию *пустого пространства*. Поглощенный мыслью о воздушном давлении, он как будто не сознает важности и пользы безвоздушного пространства. Тем сильнее повлияло открытие торичеллиевой пустоты на других. Спор о существовании пустого пространства занимал умы со времен Аристотеля и древних атомистов. В разбираемое нами время были не прочь вывести на арену барометрическую пустоту как представительницу абсолютно пустого пространства, и противникам последнего приходилось плохо. Между тем торичеллиева пустота оставалась пока неприменимой к практике, так как ее еще не сумели сделать доступной для опытов. Задачу создания пустого пространства, в котором можно было бы производить опыты, осуществил *Герике*².

¹ Поггендорф («Gesch. d. Physik». стр. 324) явно недооценил значение этого наблюдения, которое может быть произведено лишь с помощью барометра, заявляя, что, по существу, барометр не в большей степени доказывает наличие воздушного давления, чем водяной нанос.

² Из приборов, принадлежавших Торичелли, сохраняются во Флоренции один телескоп и две барометрические трубки (Gerland, Leopoldina, Н. XVIII, 1882).

120 ЖИЗНЬ И СОЧИНЕНИЯ ДЕКАРТА. ЕГО ФИЛОСОФСКАЯ СИСТЕМА

РЕНЭ ДЕКАРТ (Renatus Cartesius) родился в 1596 г. в La Hay, в Турени. Отец его был парламентским советником в Ренне, а семья принадлежала к древнейшей местной аристократии. Восьмилетний мальчик, лишившийся матери при рождении, был отдан в иезуитскую коллегию La Flèche в Анжу, где он с самого начала усердно занимался математикой. С 1612 по 1616 г. Рэне Декарт провел в Париже, первые два года предаваясь столичным удовольствиям, а два следующие — в уединении в Сен-Жерменском предместье, изучая преимущественно математику. В 1617 г. он уехал в Голландию, где служил в армии штатгальтера Морица Нассауского, а в 1619 г. принимал участие в тридцатилетней войне в армии курфюрста Баварского. Затем Декарт объездил почти всю Европу; но с 1629 г. он жил большей частью уединенно в разных местах Голландии. До 1629 г. он пробовал различные занятия; с этих пор он отдался целиком философии. В 1637 г. вышло в свет его первое сочинение: *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences. Plus la dioptrique, les météores et la géometrie, qui sont des essais de cette méthode*» (Лейден, 1637), содержащее изложение нового метода философского мышления и доказывающее плодотворность этого метода в применении к диоптрике, огненным воздушным явлениям и геометрии. Геометрический отдел сочинения включает в качестве важнейшего открытия Декарта его *аналитическую геометрию*; к метеорам и диоптрике мы еще вернемся. Четыре года спустя Декарт изложил по новому методу свою метафизику в *«Meditationes de prima philosophia in quibus Dei existentia et animae humanae immortalitas demonstratur»* (Амстердам, 1641).

Подобно Бэкону в *«Novum organon»* и Декарт отзывается презрительно о современной ему науке и остается более или менее неудовлетворенным всеми отраслями знания. Везде находит он шаткость и заблуждения и, подобно Бэкону, корень зла видит в ложном методе наук. Правильный метод — насущная необходимость; отсутствие его — достаточная причина для всякого рода ошибок. «Здравый рассудок распределен на свете лучше всего, ведь каждый воображает себя наделенным им в надлежащей пропорции, так что, например, люди весьма привередливые в других отношениях, бывают обыкновенно очень довольны своим умом и не желают большего; но дело не в одном здравом рассудке, крайне важно еще хорошее применение его». Но когда вслед за этим он переходит к изложению своего метода, *между ним и Бэконом начинается резкое расхождение*, даже можно сказать *прямая противоположность*. Метод Декарта опирается на четыре основных правила: 1) Не считать истинным ничего, что не представляется ясно и отчетливо. 2) Разлагать каждый вопрос, подлежащий рассмотрению, на столько более простых частей, на сколько это возможно и необходимо. 3) Начинать с самых простых и легких предметов. 4) Перечислять все сполна, не просмотреть чего-либо, чтобы предохранить себя от всяких ошибок. Согласно первому своему правилу Декарт и начинает свою философию с *сомнения во всем, что ему доселе казалось истинным*, и после всесторонней проверки он находит по существу своему *только одно положение достоверным*, а именно

ФИЛОСОФСКАЯ СИСТЕМА ДЕКАРТА 121

знаменитейшее положение картезианской философии — *cogito, ergo sum, я мыслю, стало быть* — существую. Мои чувства нередко обманывают меня; я вижу сны, не имеющие реальной основы; мои представления о внешнем мире столько же могут быть истиной, сколько иллюзией; одно только не подлежит сомнению — я мыслю, я мыслящее существо. От этого единственного положения Декарт переходит к *познанию бога*. Я нахожу в себе идею бесконечной субстанции; идея эта не может иметь своей причины во мне одном, так как я субстанция конечная. Она должна иметь причину в бесконечной субстанции, которая должна быть своей собственной причиной и вместе с тем причиной всех конечных существ, следовательно, и причиной и меня самого. Таким образом, бытие бога как бесконечной субстанции столь же достоверно или даже достовернее моего собственного бытия. Но *из понятия о боге вытекает вся достоверность моего познания*. Бог должен быть олицетворением правды, отсюда следует, что он создал нас не для лжи и обмана; а стало быть, все, познаваемое нами ясно и отчетливо при посредстве разума, данного нам от него, должно быть истинным. Таким образом, бытие божие обуславливает достоверность нашего познания. Это краеугольный камень всего здания картезианской теории познания. *Все познанное нами ясно и отчетливо, должно быть достоверно и истинно*, насколько достоверно бытие истинного бога и наше собственное. Несмотря на это, у Декарта нельзя не заметить ощущения некоторой ненадежности нашего познания. Впрочем, для философии эта тень неуверенности была полезна, сообщив ей с самого начала в руках самого Декарта критическое направление. Для физики же она была невыгодна, так как философ естественно должен был ставить достоверность наблюдения гораздо ниже достоверности чистого мышления. Главнейшие результаты своего мировоззрения Декарт изложил в своем капитальном труде «*Principia philosophiae*» (Амстердам, 1644). *Первая часть представляет повторение «Meditationes» и изложенных в них основ познания; вторая заключает учение о материи и ее свойствах; в третьей изложено исследование о строении вселенной; четвертая посвящена земле*. Декарт попробовал 'Применить свой метод и к учению о нравственности, чему и посвящено сочинение «*Les passions de l'ame*» (Амстердам 1650). Сочинение это предназначалось первоначально для принцессы Елизаветы Пфальцской, ученицы Декарта. В 1647 г. философ послал свою книгу королеве шведской Христине, с которой завязал знакомство через посредство шведского посла. Королева, прочитав книгу, пригласила автора приехать в Стокгольм, и он последовал ее приглашению в 1649 г., быть может, с целью избавиться от тягостных споров с теологами протестантской Голландии. Недолго пришлось ему, однако, пожить в Стокгольме; через четыре месяца после своего приезда он заболел тяжелой болезнью, которая унесла его в могилу 17 февраля 1650 г. Собрание сочинений Декарта издавалось неоднократно на латинском и французском языках, но *лучшим следует признать французское издание, которым руководил Виктор Кузен, 1824—1826*¹. Оно

¹ В настоящее время имеется издание сочинений Декарта, более тщательное, чем кузеновское, изобилующее ошибками, особенно в части переписки. Это наилучшее издание Декарта выпущено Адамом и Таннери. (Прим. ред.).

122 ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ. УДАР

состоит из 11 томов и, сверх писем, содержит несколько недоконченных рукописей, из числа которых упомянем только о наскоро набросанном в 1636 г. трактате, относящемся к механике.

Перейдем теперь к физическим теориям Декарта, изложенным в его «Началах философии». От всех свойств, познаваемых нами в телах, можно отрешиться, за исключением протяжения. Поэтому *природа материального тела заключается в протяжении и только в протяжении*. Следовательно, не существует ни пустого пространства, ни атомов. (Мы, однако, увидим, что, несмотря на это, учение Декарта сильно приближается к атомистике.) Такое определение материи прямо уничтожает старое различие между земными и небесными телами, потому что материя, существо которой заключается в одной протяженности, должна безразлично наполнять собою все мировое пространство. *Движение тела есть переход его из соседства соприкасающихся с ним тел в соседство других*. Понятие о движении предполагает, следовательно, безусловную взаимность: когда, например, тело *A* удаляется от тела *B*, то вполне правильно будет сказать, что и тело *B* удаляется от тела *A*. Отсюда вытекает важное положение, что *движению не соответствует больше действия, нежели покою*; и далее, что *всякое тело может иметь одновременно несколько движений и каждое движение можно считать составленным из многих других*. Последняя причина всех движений есть бог; так как, однако, бог неизменен, то и количество движения, содержащееся во вселенной, должно быть неизменно. (Таково своеобразное декартовское доказательство сохранения энергии). Из положения, что покою и движению соответствует одинаковая величина действия, вытекает во всей его полноте закон инерции: *всякое тело остается в своем состоянии покоя или движения до тех пор, пока внешняя причина не изменит этого состояния*. Кроме того, здесь еще специально прибавляется, что при отсутствии внешнего сопротивления движущееся тело сохраняет раз навсегда и свое первоначальное направление. Несмотря на изложенное выше, Декарт далее выводит свой третий закон движения, поразительно неверный во второй своей части; именно, *каждое тело, сталкиваясь с другим, теряет столько собственного движения, сколько сообщает его другому, если вообще способно сдвинуть его; в том же случае, когда сопротивление второго тела превосходит силу первого, первое тело сохраняет полностью свое движение и только уклоняется от своего первоначального направления*. Из этого закона движения Декарт выводит для удара совершенно твердых (неопределенное выражение для совершенно упругих тел 7 правил. 1) Два равных тела *B* и *C*, с одинаковыми, но противоположными скоростями, отскакивают друг от друга после удара с обратными скоростями. 2) Если тело *B* хоть несколько больше *C*, то оба тела после удара движутся дальше по направлению *B* с одинаковыми скоростями. 3) Если *B* и *C* равны по величине, но *B* обладает большей скоростью, то *B* отдает *C* половину своего излишка скорости. 4) Если *C* находится в покое и немного больше *B*, то *C* остается неподвижным, *B* же отскакивает от него с противоположной скоростью. 5) Если при тех же условиях *C* меньше *B*, то оба тела будут продолжать двигаться с одинаковыми скоростями, причем *B* отдаст *C* излишек своей скорости

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ТЕЛ. СИСТЕМЫ ВСЕЛЕННОЙ 123

соразмерно массам тел. 6) Если при тех же условиях B и C равны, то C движется в направлении B , B же отскакивает; при этом скорости распределяются соответственно массам. 7) В седьмом правиле Декарт рассматривает случай, когда B и C имеют скорости одинакового направления, и дает, соответственно отношению скоростей, различные указания для определения движения после удара. Из всех приведенных 7 правил, ни одно не оказывается вполне верным при данных условиях, но особенно резко бросается в глаза непостижимая ошибочность средних правил. Происходит это от того, что декартовский закон передачи движений верен только в первой своей части и что он не достаточно строго отличает упругие тела от неупругих и, наконец, — в чем, быть может, кроется корень всех ошибок, — что *Декарт не имеет понятия о превращении внешнего движения во внутреннее (молекулярное) и не может ни при каких условиях допустить уничтожения внешних движений*. Монтюкла (в своей «Истории математики») удивляется только добронравию декартовских учеников, которые принимали на веру эти положения. Сам Декарт считал себя вполне обеспеченным против возражений, прибавив после изложения своих 7 правил, *что абсолютно твердых тел не существует и что, следовательно, эти законы никогда не могут оказаться вполне правильными при опытной их проверке*.

Так как сущность тел составляет одно протяжение, то *Декарт не считает себя вправе приписывать им каких бы то ни было внутренних сил, ни отталкивательных, ни притягательных*. Немыслимо также предположение о склеивании частиц тела между собой; поэтому единственной причиной сцепления частиц может быть инерция материи, и сопротивление, оказываемое телом разъединению его частиц, не может быть ничем иным, как *косным сопротивлением материи*. В жидкостях подобного сопротивления не замечается, *потому что их частицы находятся в непрерывном движении*. Твердое же тело, погруженное в жидкость, не претерпевает никаких изменений от движения частиц жидкости, ни в своем покое, ни в своем движении, так как направленные на него удары этих частиц взаимно уничтожаются. Если твердое тело так трудно разбивается или разламывается, то это происходит от того, что оно сопротивляется движению как целое, руки же наши способны действовать лишь на отдельные части тела.

Из различных *систем вселенной* птолемея, по мнению Декарта, отвергнута с полным основанием. Системы Коперника и Тихо де-Браге почти одинаково хороши, хотя первая имеет преимущество большей простоты. Он, однако, имеет в виду дать *новую гипотезу, которая еще проще и вместе с тем лучше*. Декарт во всех случаях называет свою систему вселенной только гипотезой. Уже в своем «Discours» он говорит: «Чтобы иметь возможность выражать свои мнения свободно, не следуя воззрениям, господствующим между учеными, и не опровергая их, я решил предоставить им земной мир для всяких препирательств и рассуждать только о том, что могло бы происходить в совершенно ином и новом мире, если бы бог в каком-либо другом месте пространства сотворил новое количество материи, достаточное для образования мира, и сообщил различным частям этого вещества

124 ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ РОДЫ МАТЕРИИ. ВИХРИ

разнообразные движения. Затем богу оставалось бы только распространить свою обычную помощь на эту новую природу и позволить ей развиваться по ее собственным законам». Очевидно, впрочем, что здесь он только имеет в виду избежать пререканий с учеными и наладок со стороны теологов¹; сам же он приписывает своей гипотезе наибольшую достоверность.

Вначале мир был наполнен материальными частицами однородного вещества и одинаковой средней величины. Этот океан материи находился в покое, но был разделен на множество приблизительно шаровидных вихрей, вращавшихся около своих осей. Отдельные частицы материи не могли быть вначале шаровидными, иначе они не наполнили бы пространства; но постепенно, шлифуясь друг от друга в вихреобразном движении, они приняли шаровую форму. С тех пор во вселенной оказалась двоякого рода материя, именно шаровидные частицы (Декарт называет их частицами второго элемента) и отщепившиеся от них при трении гораздо меньшие осколки — частицы первого элемента, наполнившие промежутки между частицами второго элемента. Незначительное вначале количество частиц первого элемента постепенно увеличивалось по мере трения между собой частиц второго элемента, и так как количество их, наконец, превзошло количество, потребное для заполнения промежутков, то этот излишек материи устремился к центру вихря и образовал здесь тончайшее жидкое тело, центральное тело вихря. Этот процесс был облегчен тем, во-первых, что шаровые тельца второго элемента постепенно уменьшались в объеме вследствие трения: во-вторых, тем, что вследствие сравнительно большого своего размера они стремились наружу сильнее частиц первого элемента, так что в центре вихря оставалось свободное пространство для первого элемента. Дело в том, что всякая составная часть вихря проявляет, подобно камню в праще, стремление удалиться от центра к периферии, причем стремление крупнейших частиц здесь одерживает верх. Ни одна частица второго элемента не может, однако, просто следовать этому стремлению, так как внутренняя частица задерживается наружными, а наружные оттесняются назад частицами соседних вихрей. Тем не менее, давление центрального ядра, во всяком случае, там, где лежит тесно сплоченное вещество первого элемента, все-таки распространяется по всему вихрю прямолинейно к периферии, действуя также и на соседние вихри. Это давление глаз ощущает в виде света, и этой гипотезой могут быть объяснены все особенности световых явлений.

Соприкасающиеся вихри в небесном пространстве взаимно влияют друг на друга и вынуждены приспособить свои движения таким образом, чтобы в наименьшей степени мешать друг другу. Последнее осуществимо лишь в том случае, когда *полюсы одного вихря лежат близко к экваториальным областям другого*; действительно, если бы вихри соприкасались полюсами, то при одинаковом направлении вращения они должны были бы слиться, а при противоположном — в высшей

¹ Декарт уже в 1633 г. почти закончил «Систему мира», но, услышав о приговоре над Галилеем, отложил издание своего трактата.

ТРЕТИЙ РОД МАТЕРИИ. ОБРАЗОВАНИЕ ПЯТЕН. КОМЕТЫ 125

мере тормозить друг друга. Давление во вне, обусловленное вращением, бывает в каждом вихре всего сильнее у экватора и всего слабее у полюсов. Следовательно, когда сталкиваются экватор и полюс двух вихрей, то давление первого будет вообще (оно зависит также от величины вихрей) больше давления второго вихря, и материя будет переходить из первого во второй. Переходящее вещество будет по преимуществу веществом первого элемента, так как оно обладает меньшей инерцией и легко проникает сквозь промежутки шаровых телец второго элемента. Итак, в *каждом вихре вещество первого элемента втекает по направлению оси и вытекает по направлению экватора*. Вещество первого элемента, поступающее из чужого вихря, производит давление на круглые частицы второго элемента и вызывает, таким образом, ощущение света в глазу, что создает возможность (но не гарантирует ее во всех случаях) видеть чужие центральные тела.

Когда частицы первого элемента проходят через вихрь в направлении оси, то поток их должен принимать *трехгранную форму*, так как промежутки между шариками второго элемента представляют такое очертание; так как, далее, вихрь во время их прохождения вращается, то они должны *завиваться улиткообразно* и притом в противоположных направлениях в зависимости от направления, в каком поток проходит через толщу вихря¹. Пока частицы первого элемента находятся в промежутках между шариками второго элемента, их форма остается без влияния; но, сплотившись в пространстве центрального ядра, *они должны слиться и образовать большие массы*, которые (вследствие давления изнутри наружу) будут выступать из центрального ядра близ экватора. Эти *менее подвижные массы составляют новый третий элемент*. Когда на поверхности центрального ядра образуется островок такой массы, то он становится препятствием для удара частиц центрального ядра на окружающие шарики вихря. Удар этот относительно весьма силен, потому что все однородные частицы центрального ядра действуют совместно; при его местном задержании давление наружу в данном месте значительно ослабляется, и *свет центрального ядра в свою очередь сильно затемняется или даже уничтожается лежащим над ним пятном*. Однако ослабление внешнего давления под влиянием образовавшиеся массы еще значительно. Одновременно с наружным давлением уменьшается и сопротивление вихря давлению соседних вихрей; частицы соприкасающихся с ним вихрей будут, следовательно, проникать в него, уносить с собой его частицы и таким образом отнимать у него большее или меньшее количество вещества. Если центральное ядро сплошь покроется островками, то может даже случиться, что один вихрь будет совершенно поглощен другим, сильнейшим, и *центральное ядро первого целиком поступит внутрь второго вихря*. Поступательное движение поглощаемого ядра зависит от его плотности и массы; если они настолько велики, что угасшее центральное ядро может пройти сквозь вихрь, то оно превращается в *блуждающую звезду или комету*; в противном случае вихрь увлекает его за собой и водит во-

¹ Это имеет значение для позднейшего объяснения магнитных явлений.

круг своего центрального ядра; в таком случае оно становится его спутником — планетой.

Теперь декартовская система вселенной становится для нас ясной. Каждый вихрь представляет собой солнечную систему; центральное ядро ее, солнце, состоит из частиц первого элемента, только солнечные пятна принадлежат третьему элементу; самый же вихрь состоит из шариков второго элемента. Подобный вихрь мог поглотить несколько потухших неподвижных звезд; так образовались его планеты, сохраняющие следы кругового движения своего первоначального вихря во вращении около оси и, быть может, в свою очередь поглотившие некогда другие центральные ядра, следовательно, имеющие собственных спутников. По этой системе земля, подобно всем планетам, вращается вместе с общим небесным мировым веществом нашего вихря около оси нашей солнечной системы; отсюда же следует, что *ни земля, ни прочие планеты не имеют, строго говоря, собственного движения*. Ни одна планета не удаляется из соседства соприкасающегося с нею мирового вещества; напротив, время от времени от планеты отделяется та или другая частица жидкого мирового вещества с движением, свойственным ей самой, а не планете. Стало быть, земля не движется, и противники коперниковой системы могут не предпринимать гонений против Декарта.

Рассмотрев систему вселенной, Декарт переходит к земле; *если и до сих пор он не обнаружил робости при построении гипотез о формах материи, то здесь он становится в этом отношении еще смелее и плодовитее*. Мельчайшие частицы, недоступные наблюдению, щедро наделяются углами и ветвями, и лишь только в объяснении встречается какая-нибудь заминка, на выручку тотчас же у частиц вырастает новый отросток. Мы не имеем возможности следить за всеми этими превращениями и должны еще короче прежнего рассмотреть частности декартовской теории. *Земля во внутреннем ядре своем состоит из частиц первого элемента* (остаток ее первоначальной роли центрального светила); *затем следует сплошная темная оболочка частиц третьего элемента, образовавшаяся при охлаждении из темных масс или пятен*. Об этих составных частях земли мы ничего дальнейшего не узнаем. *За этими внутренними слоями следует внешняя земная кора, образовавшаяся из осколков второй оболочки и смешанная со многими мировыми частями*. Вследствие того, что земная материя сплотилась в большие массы, она не так легко поддается давлению наружу, обусловленному вращением земли, как мировое вещество, примешанное в нашей планете к земному. Мировое вещество не может выйти из земли в совершенно наполненные материей небесные пространства, не отесняя других веществ книзу, т. е. к центру земли. А так как мировое вещество повсеместно проявляет стремление наружу, а земное вещество везде уступает ему, то отсюда следует, что земное вещество должно повсеместно отесняться к центру планеты; это явление и есть то, что мы называем тяжестью. *Тяжесть не есть, следовательно, какое-либо присущее веществу стремление, а лишь обратный толчок, производимый на земную материю мировыми шариками, удаляющимися от центра*. Приливы и отливы объясняются Декартом, как

и следовало ожидать, не притяжением луны, но суживанием земного вихря в том месте, где находится луна. Так как вся вихреобразно вращающаяся небесная материя должна проникнуть между землей и луной, то она естественно оттесняет в этом месте морскую воду назад и тем производит отлив¹.

Воздух представляет скопление частиц третьего элемента, настолько утонченных и удаленных друг от друга, что они следуют за всеми движениями небесной материи. От теплоты воздух разрежается. Дело в том, что *теплота есть колебание земных частиц, обусловленное ударом мировых шариков*; когда колебание усиливается, то частицы, длина которых вообще превосходит их ширину, требуют большого пространства; вследствие этого все тела, равно как и воздух, расширяются от действия теплоты. А так как, далее, везде существует известное количество тепла, везде существует движение частиц, то этим же объясняется *упругость тел и, главным образом, упругость воздуха*. О том, что верхняя земная оболочка содержит в своих промежутках и ходах небесную материю, было уже отмечено; но и вторая земная оболочка пропускает сквозь себя из внутренности земли частицы первого элемента, производящие сотрясение частиц верхних слоев, стало быть, нагревающие их и видоизменяющие в известной степени. *Острейшие из происшедших таким образом частиц образуют соль, мягчайшие — серу, самые тяжелые и круглые — ртуть, т. е. три основные вещества химиков.* Все земные частицы, следуя в отдельности и порознь быстрому движению первого элемента, имеют форму пламени; следуя же менее быстрому движению шариков второго элемента, — форму воздуха. Из кремня можно выбивать искры всяким твердым телом, заставляя выскакивать наружу шарики второго элемента. Молнии, блуждающие огни, падающие звезды происходят подобным же образом от стремительного падения облаков друг на друга. Вода враждебна огню вследствие того, что состоит не только из более крупных, но и более мягких и клейких частиц. «Ничто не воспринимает огня скорее и не удерживает его меньшее время, чем огнестрельный порох, выделяемый из серы, селитры и угля. Простая сера уже достаточно восприимчива к огню, потому что состоит из частиц острых соков, замкнутых в столь тонкие и дробные разветвления прочей материи, что только первому элементу открыты здесь свободные ходы. По той же причине сера считается в медицине одним из горячительнейших средств». В могильных склепах лампы могут гореть по несколько лет по той причине, что копоть образует маленький свод, внутри которого вещество первого элемента, как в звезде, быстро вращается вокруг самого себя, отталкивая все прочие частицы. *Подобным же образом Декарт объясняет и все известные ему явления природы формой материальных частиц*, причем, как и Бэкон, он не особенно разборчив в выборе фактов.

Остановимся еще на *магнитной теории* Декарта, так как последняя построена на лучшей фактической основе и может сверх того служить

¹ По теории притяжения прилив поднимается как раз навстречу луне. Но начало прилива опаздывает на несколько часов, так что непосредственное наблюдение прямо не противоречит и теории Декарта.

образцом того поразительного искусства, с каким Декарт объясняет все действия на расстоянии непосредственными ударами материальных частиц. Вещество первого элемента внедряется у полюсов каждого вихря и проходит через него в направлении оси, стало быть, проходит и через центральное ядро. При этом оно завивается улиткообразно и, проходя затем через массу третьего элемента, прорезывает в ней соответствующие извилистые каналы. *И земля в качестве бывшего центрального светила имеет подобные же каналы, но только они остались не во всех земных веществах, а соответственно форме мельчайших частиц могли сохраниться открытыми в одном лишь железе.* Через эти каналы проходит вещество первого элемента; но так как они завиты в противоположном направлении, то вещество первого элемента способно проходить по каналам, ведущим от южного полюса к северному, только в случае, если оно уже однажды пронизало вихрь в том же направлении. Но если вещество прошло через землю от одного полюса к другому, то по направлению своих извилин оно не может вернуться назад тем же путем; идти дальше оно также не может, так как воздух, вода и другие тела подобных ходов не имеют; поэтому оно должно обежать землю кругом и проникнуть в нее снова у первого полюса. Теперь, если взять из земли *естественный магнит*, т. е. кусок железа, в котором прорезаны подобные ходы, то окажется, что токи первого элемента способны свободно проходить через магнит лишь в том случае, *когда его ходы имеют одинаковые направления с земными*; в противном случае частицы будут попадать в каналы в косвенном направлении и будут стремиться поставить магнит таким образом, *чтобы его ось сделалась параллельной земной оси.* Отношение, представляемое землей «и магнитом, повторяется в малых размерах на двух магнитах; направляющая сила их, таким образом, объяснена; что же касается притягательной силы, то Декарт выводит ее из обратного толчка частичек при их переходе из магнита в воздух. Различное отношение мягкого железа и стали, а также ослабление магнита при нагревании легко объясняется той же теорией.

Декарт, как уже было замечено, называет свою теорию вихрей простой гипотезой, хотя, по-видимому, убежден в ее исключительной достоверности. Пройдя все ступени сомнения в том, что называлось традиционной ученостью, он при помощи основного положения о бытии бога как гарантии своей собственной познавательной силы приобрел полную уверенность в своих силах. Заручившись такой непоколебимой основой, можно было со спокойным духом приняться снова за построение философской теории, не опасаясь, что какое-нибудь возможное открытие ниспровергнет возводимое здание. Прежде всего, следует отвергнуть без всякой опытной проверки все то, что несогласно с нашим определением материи. В самом деле, если бы определение, правильность которого мы познали ясно и отчетливо, оказалось, тем не менее, ложным, то это значило бы, что правдивый бог обманул нас, одарил нас познавательной способностью, которая принимает ложь за истину. С этой точки зрения становится понятным (оставаясь тем не менее, непростительным) следующий отзыв Декарта в письме к своему приятелю Мерсенну: «Галилей, не стараясь про-

никнуть в первые причины природы, искал лишь объяснения некоторых действий и строил таким образом без фундамента. Все сказанное им относительно скорости тел, падающих в пустом пространстве, лишено основания. Ему следовало бы, прежде всего, определить природу тяжести, и если бы он узнал, что она такое в действительности, то ему было бы известно и ее отсутствие в пустоте». «Что касается Галилея (пишет Декарт в другом письме), то я должен вам признаться, что никогда не встречал его и не имел с ним сношений; поэтому я не мог ничего позаимствовать от него; да и не нахожу в его книге ничего такого, чему мог бы позавидовать и почти ничего, что желал бы назвать своим»¹.

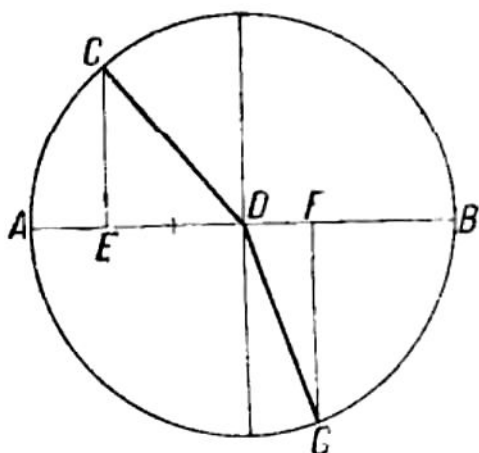
Так как мы в полной мере убедились, что самой материи по природе не может быть присуща какая-либо сила, то единственной достоверной гипотезой мы должны признать теорию вихрей. Останавливаться на приискании доказательств ее правильности нет нужды: достаточно лишь просмотреть, как все вообще явления объясняются, исходя из этой гипотезы, и следует признать, что действительно *возможность подобного объяснения — лучшая проверка гипотезы*. Тут, однако, с нашим философом происходит нечто странное. Декарт, как всякому известно, — *один из виднейших математиков своего столетия*; открытия аналитической геометрии достаточно, чтобы обессмертить его имя; в его оптике, как мы ниже увидим, тоже сказывается *замечательный математический физик*; но *при разработке теории вихрей математический склад мыслей исчезнет в нем бесследно*. Во всей книге нет ни одного точного определения величины. Декарт не интересуется ни действительными величинами масс, ни пространствами, ни скоростями, и это-то убивает его теорию. Для всякой вообще гипотезы нет лучшего подтверждения, как математический вывод из нее количественных отношений и затем опытное доказательство, что такие количественные отношения действительно существуют. Математическая дедукция безусловно надежна: если гипотеза допускает ее и если теоретически выведенные отношения согласуются с результатами фактических измерений, можно сказать, что гипотеза выдержала победоносно строжайшее испытание. *Декарт, напротив, в своей теории вихрей не допускает и мысли о математической проверке; он является здесь исключительно философом, выводящим из своего определения материи все явления внешнего мира*. А так как из основного положения, что «сущность материи состоит только в протяженности», много не выжмешь, то при дальнейшем ходе исследования Декарт вынужден прибегать ко все большему и большему числу вспомогательных гипотез о строении материи. С одной стороны, это удобно, так как прямым опытом нельзя ничего решить по отношению к невидимо мелким частичкам; но с другой стороны, учению грозит роковая опасность, потому что с *нагромождением*

¹ Для механика особенно характерно следующее положение, направленное против Галилея: ясно, что камень не может проявлять совершенно одинаковой наклонности к восприятию нового движения или увеличению своей скорости, в том случае, когда он уже движется с большой скоростью или когда он движется медленно.

*гипотез вероятность всей теории постепенно приближается к нулю. Нельзя отрицать остроумия попытки устранить необходимость представления о стремлении всех однородных тел соединиться между собою; не малую заслугу представляет, далее, попытка освободить физику от теории непосредственного взаимного влияния тел. Но как бы то ни было, мировая система Декарта представляла слишком воздушную постройку, чтобы долго продержаться; и лишь только ей противопоставили математически крепкое здание, ее пришлось оставить*¹. Однако в свое время воззрения Декарта получили всеобщее и быстрое распространение. Перипатетики при всяком непонятном явлении наделяли материю особым скрытым свойством (Qualitas occulta); небесные тела двигались, например, по кругу, а земные — по прямой линии потому только, что такова была их природа и т. д. Перед лицом таких таинственных свойств теория Декарта имеет непреложные «преимущества. В его системе нет скрытых сил, даже загадочность силы тяжести устранена; в основу выводов положены легко понятные гипотезы о форме материи. Если в то время не обращали внимания на чрезмерное изобилие его гипотез, то в оправдание можно привести то соображение, что лучшего объяснения для многих явлений пока не существовало, и что не была исключена возможность исправления недочетов в будущем. Во Франции, как и в Англии, физика преподавалась некоторое время после смерти Декарта исключительно по его принципам «*Traité de Physique*» Poro (Rohault), книга вышедшая в свет в 1673 г. и вся основанная на Декарте, считалась основным учебником. Когда Ньютон обнаружил свою систему, ей пришлось выдержать продолжительную борьбу с декартовской, и долгое время перевес оставался на стороне последней.

Перейдем теперь к декартовской теории света, изложенной в приложениях к его «Discours» — в «Диоптрике» и «Метеорах». Ощущение света производится, как мы уже знаем, давлением мировых шариков (шариков второго элемента) на глаз. Учение Декарта занимает, следовательно, середину между теорией истечения и волновой теорией света. Свет не создается волнообразным движением или испусканием светового вещества; он распространяется мгновенно от одного небесного шарика к другому в виде давления, и последнее ощущается глазом в форме света. Подобное давление производится, как мы уже знаем, каждой «неподвижной звездой; но и каждое светящееся земное тело действует подобным же образом, потому что оно, вследствие быстрого движения своих продолговатых мельчайших частиц постоянно давит и толкает окружающие его шарики второго элемента. Декарт полагает также, что и сетчатая оболочка глаза со своей стороны способна производить такое давление и, как бы осяпывая предметы, видеть в темноте. На основании своей теории он решает и обычные задачи пре-

¹ Всего строже отнеслись к теориям Декарта астрономы, требовавшие основ для своих вычислений. Делабр говорит, например: «Декарт «воскресил метод древних греков, которые решали наугад, не давая себе труда наблюдать или вычислять. Но, сопоставляя заблуждение с заблуждением, вымысел с вымыслом, признаюсь, что твердые небесные сферы Аристотеля мне все же более по душе, чем вихри Декарта».



Черт. 7.

ломления и отражения лучей. Предположим, что небесный шарик ударяется наискось о твердую стену; по законам удара легко будет доказать, что он отскочит от стены под тем же углом и что поэтому углы *падения и отражения должны быть равны между собой*. С целью вывести закон преломления лучей представим себе, что шарик ударяется о стену, в которую он способен проникнуть, и предположим, далее, что в более плотном веществе стены он будет продолжать двигаться с большей против прежней, например, с двойной скоростью. При этих условиях мы можем разобраться в данном явлении при помощи следующего построения. Обозначим стену буквами *AB*, отрезок, пропорциональный скорости света *CD*, и опишем радиусом *CD* около точки *D* круг: в таком случае шарик в стене пробежит радиус круга в половину того времени, которое он употребил на прохождение вне стены по радиусу *CD*. Разложим движение *CD* на две взаимно перпендикулярные слагаемые *CE* и *ED*; в нашем случае движение, параллельное стене, не изменится (по предположению Декарта), следовательно, в половину времени шарик пройдет лишь половину *CD*, равную *DF*. Изменение вертикальной слагаемой в стене не нуждается в особом определении, так как величина всего движения и величина и направление одной из слагаемых уже вполне определяет путь шарика к стене. Отношение между путями, проходимыми вне и внутри стены, параллельно последней, будет при этом одинаково для всякого угла падения, в нашем случае, например, 2:1; а так как это отношение (как видно из рисунка) равно отношению *синусов угла падения и преломления*, то отсюда прямо следует, что *отношение этих синусов будет всегда одинаково для одних и тех же сред*.

Закон преломления принес Декарту мало славы. Утверждали, что закон этот был найден раньше его Снеллием, хотя и был выражен им в менее удобной форме, и что *Декарт знал об этой работе и воспользовался ею*, т. е. присвоил себе чужое открытие, не упомянув имени Снеллия. Таково было мнение Исаака Фосса в 1662 г.; Гюйгенс же слышал от кого-то, что самая рукопись Снеллия была в руках у Декарта. Историки, математики и физики считают эти обвинения большею частью правильными. Только в недавнее время д-р П. Крамер¹ пытался доказать, что гораздо более вероятным является самостоятельное открытие Декартом закона преломления. Крамер относит открытие к 1627 или 1628 гг. на том основании, что Декарт устроил около этого времени прибор для шлифовки чечевиц, указывающий на знакомство его с законами преломления. Он считает вероятным, что при своем двукратном непродолжительном пребывании в Голландии, в 1619 и 1621—1622 гг., Декарт ничего не слышал о снелли-

¹ «Zeitschr. f. Math. u. Physik», XXVII Jahrg. Hist. lit. Supplem.

132 ДЕКАРТ И СНЕЛЛИЙ

евском открытии (которое вряд ли и было им сделано уже в это время); поселился же он в Голландии только в 1629 г. Все эти обстоятельства, вместе взятые, убеждают Крамера в том, что честь открытия принадлежит французскому философу. Допуская правильность указанных доводов, все же следует думать, что до 1637 г., когда была издана «Диоптрика», Декарт уже должен был слышать о новом открытии, так как, например, профессор Гортензиус начиная с 1634 г. излагал на своих лекциях закон преломления по Снеллию. Если это так, — а этого не отрицает и сам Крамер, — то странно, почему Декарт в своей «Диоптрике» не защищает своих прав против Снеллия. По мнению Крамера он вовсе не был обязан называть своего предшественника; по нашему же мнению он должен был это сделать в собственных интересах. А так как он вообще очень заботился об охране своих прав, то в данном случае небрежность, на наш взгляд, свидетельствует против него. Мы склоняемся поэтому в пользу вероятности молчаливого пользования с его стороны чужим открытием, тем более что он (по собственному признанию и свидетельству Крамера) вообще не считал нужным упоминать в своем трактате, — не представляющем собой истории оптики, — имен своих предшественников ¹. Если Фосс и Гюйгенс выступили со своими обличениями только после смерти Декарта, то это не служит доводом против правильности последних; признание же совершенной невинности Декарта превратилось бы в тяжкое обвинение против таких людей, как Фосс и Гюйгенс.

Выводя свой закон преломления, Декарт вынужден делать различные *предположения*: 1) скорость света в более плотной среде больше, чем в менее плотной; 2) скорости эти в одних и тех же средах имеют при всех углах падения одинаковые отношения, и 3) слагающая, параллельная поверхности раздела сред, при переходе из одной среды в другую не изменяется, откуда также следует, что нормальная слагающая изменяется с изменением угла падения. *Все эти гипотезы сами по себе маловероятны и приобретают правдоподобие лишь в виду согласия с результатами.* Английский философ Гоббс (1588—1679) и знаменитый математик Ферма (1590—1663) восстали против всех пунктов этого доказательства, и Декарт не только не одержал победы, но едва мог добиться перемирия. Когда же по смерти Декарта его ученик Клерселье в 60-х годах издал несколько ненапечатанных рукописей, а также письма ² своего учителя и попытался защищать его способ выведения закона преломления, Ферма возобновил свои возражения и привел свое доказательство, построенное на положении, прямо противоположном одному из положений Декарта. Именно Ферма, *исходя из предположения, что свет пробегает путь от какой-либо точки в одной среде к точке в другой среде в наикратчайшее время, применил свой новый метод наибольших и наименьших величин (maxima et minima) к определению пути света.* Он пришел к результату, соответствующему

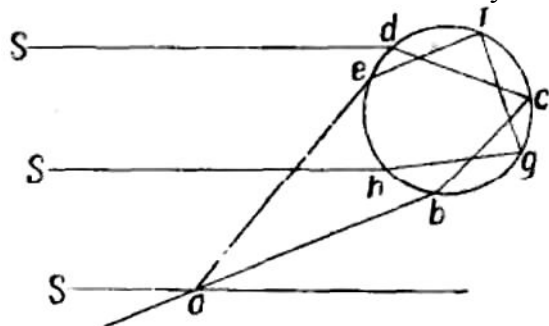
¹ Новейшие исследования (Ch. Adam и др.) подтверждают точку зрения Крамера. (Прим. ред.)

² *Clerselier. Lettres de Descartes sur la morale, la physique, le medicine et es mathematiques*, 3 vol., Париж, 1667.

ОБЪЯСНЕНИЕ РАДУГИ 133

декартовскому закону преломления, но в то же время ему пришлось принять *скорость в более плотной среде меньшей, чем в среде менее плотной*. Так как природа ничего зря вообще не расточает, то он находил принцип наименьшего действия безусловно надежным и считал себя победителем в этом споре. Однако Клерселье не сдался; он возразил, что и принцип Ферма может иметь в физике только значение гипотезы. С тех пор обе точки зрения по вопросу о скорости света в плотных и редких средах так и остались непримиримо враждебными друг другу. Поэтому многие оптики сознательно обходили принципиальную сторону этого вопроса, довольствуясь наглядным доказательством закона преломления, носящим название «солдатского фронта». Именно световые лучи, встречаясь с поверхностью раздела двух сред, ведут себя точь-в-точь, как солдаты, идущие развернутым фронтом, когда гладкая дорога перерезывается наискось пашнею, — они поворачивают фронт и уклоняются от первоначального направления. Такое доказательство приводит Барроу в своих «*Lectioes opticae*» (1669) и Деталь в своем «*Mundus mathematicus*» (1690). Согласно Монтюкла («*Histoire des Mathematiques*») доказательство это придумано патером Меньяном в 1648 г.

Убедительнее, чем вывод закона преломления, вышло у Декарта *объяснение радуги*, помещенное в трактате о метеорах. Он сначала попробовал установить ход световых лучей опытным путем. Взяв стеклянный шар, он подвесил его так, чтобы солнечные лучи падали на его поверхность; затем стал спиной к солнцу и, то поднимая, то опуская шар, наблюдал в нижней части его, в *b*, появление цветов всякий раз, как зрительная линия *ab* в капле образовывала со зрительной линией *Sa*, направленной к солнцу, угол приблизительно в 42° ; красный цвет получался при несколько большем, а желтый и голубой при несколько меньшем угле. Когда угол становился больше 42° , цвета исчезали; они, однако, появлялись вновь, бледнее и в обратном порядке на верхнем краю шара, когда угол достигал приблизительно 52° . Закрывая затем бумагой те места шара, где предположительно проходили лучи, Декарт нашел, что в первом случае луч проходит путь *Sdcba*, а во втором путь *Shgfe*. Он дал, таким образом, наглядное доказательство того, что *главная радуга происходит от двукратного преломления и однократного отражения*, а *побочная радуга — от двукратного преломления и двукратного отражения*. Впрочем, Декарт не удовлетворился этим доказательством, а захотел исследовать, *почему мы получаем свет только от тех капель, из которых лучи выходят под определенными углами со своим первоначальным направлением*. Он рассудил, что солнечные лучи, падающие параллельно на каплю, смотря по месту, на которое упали, должны выходить из капли под весьма различными углами, т. е. должны сильно расходиться. Стало быть, солнечный свет рассеивается каплями дождя, и вследствие этого мы вообще не полу-



Черт. 8.

134 ЖИЗНЬ ГАССЕНДИ

чаем светлых изображений от лучей, попадающих в наш глаз из капли; и только в том случае, когда собирается сравнительно много таких лучей, т. е. *когда лучи выходят из капель почти параллельно, получается светлое изображение*. Декарт вычислил отклонения для 1000 лучей, падающих на каплю в различных точках. Он нашел, что при двукратном преломлении и однократном отражении незначительно расходятся при своем выходе из капли те лучи, которых отклонение равняется приблизительно 42° ; при двукратном же преломлении и двукратном отражении незначительное расхождение наблюдается при отклонении в $51\text{—}52^\circ$. Декарт, таким образом, первый верно определил величину дуг и дал то объяснение радуге, которое и до сих пор считается правильным. Оставалось еще объяснить *происхождение цветов радуги и их последовательность*, но это уже превышало его возможности; он мог только констатировать, что для их образования необходимо неоднократное преломление и что они тождественны с цветами, получаемыми с помощью призмы.

Оптические исследования Декарта замечательны во многих отношениях. *В этой области физики он не только проявляет свои математический гений в лучшем свете, но и пользуется очень искусно опытом как основанием для математических выводов*. Можно, конечно, пожалеть, что он не проявил своих блестящих качеств в «Началах философии», не воспользовавшись здесь ни своим талантом наблюдателя, ни математическим умом; но не следует забывать, что одно дело следить за ходом прямолинейных световых лучей, когда к тому же имеется в виду только их путь, а все скорости и силы оставляются в стороне, и иное дело математически решать сложные проблемы небесной механики. *Только в одном вопросе мы не находим никакого оправдания для Декарта, — мы имеем в виду его отношение к Галилею*. Выводить столь странные ошибочные законы движения, какие даны были Декартом в его «Началах», шесть лет спустя после опубликования «Discorsi», иметь столь ложное понятие о правильности и важности галилеевских работ, какое он проявляет в своих письмах к Мерсенну, — можно только при *недопустимом самообольщении насчет непогрешимости собственного мышления*.

Наиболее значительный противник Декарта *ПЬЕРР ГАССЕНДИ* родился в 1592 г. близ г. Динь в Провансе, от бедных поселян. Один из родственников отправил его в Э учиться философии, и он обнаружил вскоре такие дарования, что 16 лет сделался учителем риторики в Дине, а три года спустя — преемником своего учителя в Э. В это время он уже написал свои «*Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*», напечатанные гораздо позже, после того как он по совету своих доброжелателей уничтожил часть наиболее резких возражений. В числе его доброжелателей был приор Гольтериус и в особенности ученый парламентский советник Пейресциус; по их настоянию молодой Гассенди поступил в духовное звание, а благодаря покровительству Пейресциуса он вскоре сделался каноником и пробстом в Дине. Призванный в Париж в качестве профессора механики в 1646 г., он должен был вскоре вследствие слабого здоровья вернуться в родной город; в 1653 г. он попытался вновь отправиться в Париж; но здесь он снова

заболел и умер 24 октября 1655 г., после того как уже изнуренный горячкой, должен был выдержать тринадцать кровопусканий. Его сочинения вышли в 1658 г. в шести объемистых томах.

Гассенди принадлежит к *натурфилософскому направлению физиков*. Его не интересовал опыт сам по себе, не привлекало открытие новых явлений путем наблюдения; но он был далек и от умозрительной односторонности, самостоятельно проверяя то, что казалось ему достойным внимания. Одного только недостает ему местами — *математического интереса или даже, быть может, математических способностей*. Сферой его была по преимуществу критическая проверка научных данных, опровержение старых заблуждений, популяризация новых трудно усваиваемых понятий. Вследствие такого направления Гассенди занимает видное место между основателями нового мировоззрения и стоит в *передовом отряде бойцов против старой физики, опиравшейся на авторитет Аристотеля*. Системе последнего он противопоставил другую философскую систему, обратившись к учению, наиболее враждебному аристотелизму, т. е. к атомистике. Он *превозносил философию Эпикура и положил ее в основу собственных воззрений на природу*¹.

Дробление тела до бесконечности немыслимо, полагал Гассенди, иначе тело должно было бы превращаться в ничто. Напротив, *все тела состоят из неделимых частиц или атомов*, между которыми находится абсолютно пустое пространство. *Атомы непроницаемы, неделимы, обладают известной величиной и известной тяжестью, т. е. известным естественным движением, или, по крайней мере, стремлением к движению*. Атомы обладают самой разнообразной формой, бывают шаровидны, овальны, продолговаты, заострены, угловаты и т. д., представляя соответственно этому большую или меньшую инерцию: угловатые инертнее гладких. *Свойства тела определяются различным расположением его атомов*: если последние сцеплены между собой лишь в немногих точках, тело бывает жидким; если они соприкасаются многими точками, тело бывает твердым. Последнее происходит преимущественно при неправильной форме атомов (и у Гассенди первенствующую роль в твердости тел играют крючковатые атомы). Большая и меньшая плотность тел зависит, разумеется, от большего или меньшего расстояния между атомами. *Всякое возникновение и уничтожение есть лишь соединение и распадение атомов; соединение и распадение это совершается силами, присущими самим атомам, а не вследствие вмешательства творца вселенной*. При всем том бог остается первой причиной всех явлений в мире, потому что он создал все атомы со скрытыми в них силами как семенами всего сущего. Земные атомы находятся в состоянии непрерывного движения или падения к центру земли *вследствие взаимного притяжения между атомами*. *Притяжение это не следует, однако, понимать в смысле непосредственного действия на расстоянии (actio in distans)*; оно скорее походит на магнитное притяжение. Притяжение же магнитное, как и электрическое,

¹ De vita, moribus et doctrin. Epicuri (Лейден, 1647); Philosophiae Epicuri syntagma (Гаага, 1655).

Гассенди объясняет, — следуя в этом старым образцам, — *прямым действием истечений, исходящих из тел. Прямым истечением материи из тел* признает он и свет. Он вообще сторонник чистой теории истечений и тем самым становится в прямое противоречие с Декартом, против философской системы которого он выступил в 1643 г.¹, направив свои полемические удары на самый корень ее, на основное положение *cogito, ergo sum*. Гассенди нашел многих приверженцев и в своей теории света, хотя следует заметить, что именно в оптике он сделал больше ошибочных, чем верных выводов.

Скорость звука Гассенди определил по тому же способу, как и Мерсенн; но, употребляя для опытов и пистолеты и пушки, он опроверг одно из заблуждений перипатетиков. Именно, он нашел, вопреки мнению последних, что *звук распространяется в воздухе независимо от своего источника и от высоты тона постоянно с одной и той же скоростью*, именно со скоростью 1473 футов в секунду. Против теории, будто холод есть не что иное, как отрицательная теплота, он решительно восстает, преимущественно на том основании, что вода и селитра при своем смешении порождают холод, а другие тела — тепло. По его мнению, для тепла и холода существуют отдельные материи. *Атомы холода имеют форму тетраэдров; они проникают в жидкие вещества и так соединяют их атомы, что жидкость превращается в твердое тело*. Острые выступы атомов холода производят на нашей коже всем известное колющее ощущение при морозе. Несмотря на коренное несогласие с Декартом, Гассенди, как мы видим, не уступает ему в *смелости определения формы невидимых атомов*. Таково уже свойство натурфилософии. Тем не менее, Гассенди превосходит многих из тогдашних физиков правильностью суждений, притом на почве столь зыбкой, какой была в то время физика земли. Он восстает против теории *центрального огня, постоянно горящего* внутри земли, на том основании, что пламя немыслимо без света. Там, где из земли вырывается наружу огонь, последний выходит из пещер и расщелин, в которых накопились сера и смолы. Воспламенение же этих веществ не удивительно, так как известно, что смесь селитры, серы и негашеной извести воспламеняется сама собой. Землетрясения также происходят от таких огней, а вовсе не от сильных ветров, вырывающихся из земных расселин. Морская вода солонa, потому что находится в постоянном соприкосновении с колоссальными соляными залежами и соляными горами на дне морей.

Механические работы Гассенди были результатом его участия в спорах о системах вселенной. В Италии с системой Коперника было надолго покончено после приговора над Галилеем; во Франции же, где в это время собралось много замечательных ученых, борьба продолжалась, поддерживаемая влиятельными покровителями науки, вроде, например, Пейресциуса, и приверженцы Коперника одержали, наконец, решительную победу на всех пунктах. *Птолемея система отжила свой век* — таково было общее убеждение; оставалось *выбирать между Коперником и Тихо*. Много серьезных ученых высказывалось

¹ Disquisitiones Anticartesianae.

СИСТЕМЫ ВСЕЛЕННОЙ. ИЗУЧЕНИЕ ПАДЕНИЯ ТЕЛ 137

в пользу Тихо, например, его ученик *Лонгомонтанус*, капуцинский монах *де-Рейта*, иезуиты *Риччиоли*, *Дешаль* и др. Всего же энергичнее нападал на Коперника *Ж. Б. Морен* (1583—1656) в своем трактате, напечатанном в 1631 г. Морен не привел новых опровержений; но его влияние в Париже было значительно и потому опасно. В 1629 г. он сделался профессором математики в Париже (свою карьеру он начал в качестве врача, попутно занимавшегося астрологией) и сумел приобрести расположение Ришелье и его преемника Мазарини. При таких обстоятельствах Сорбонна легко могла присоединить свой приговор к папскому проклятию и попытаться изгнать Коперника из Франции подобно тому, как он был изгнан из Италии. Вот против этого-то Морена и его доводов в пользу тиховской системы и выступил Гассенди в двух письмах к Петру Патеанусу в 1640 г. Морен ответил в 1643 г. монографией со скромным заглавием: *«Alae telluris tractae»*; Гассенди возразил в третьем письме своему покровителю Гольтериусу, а в 1649 г. вышло в свет собрание его возражений против Морена в сочинении *«De motu impresso a motore translato»*. Морен и тут не признал себя побежденным, но Сорбонна уже побоялась уронить свое достоинство, приняв участие в споре. Главный предмет сочинения *«De motu impresso»* составляет рассуждение о *сохранении движения и в том случае, когда движущемуся уже телу сообщено новое движение*. Противники коперниканской системы, наперекор галилеевским исследованиям о сложении движений, не хотели понять, что тело, брошенное от земли вверх, сохраняет, независимо от сообщенного ему движения, и то, которое оно имело первоначально от совместного движения с землей. Морен вновь поднял вопрос о том, что если земля движется, то падающее тело должно отставать от нее. Для окончательного решения этого вопроса Гассенди произвел ряд опытов в марсельской гавани. Именно с верхушки мачты галеры, проходившей в $\frac{1}{4}$ часа четыре миллиарда (1 миллиард=1000 шагам), бросали камни, но они неизменно падали параллельно мачте, т. е. не отставали от судна, несмотря на его поступательное движение. Таким образом был, наконец, уничтожен почти двухтысячелетний аргумент об отставании облаков и других предметов от движущейся земли. Гассенди ратовал также за галилеевский закон падения тел в письмах к ярому противнику этого закона патеру Казреусу ¹, доказывая последнему ошибочность его выводов и неточность произведенных им опытов. При всем том Гассенди не объявлял себя прямым приверженцем системы Коперника; он только старался доказать, что все возражения против нее неосновательны. И в своем *«Institutio astronomica»*, вышедшем в 1647 г., он еще не решается высказаться открыто. В первой части сочинения помещена сферическая астрономия; во второй — изложена система Птолемея, а в третьей — системы Коперника и Тихо. Птолемея была им совершенно отвергнута, коперникову он признал простейшей и наиболее соответствующей действительности. *Что касается тиховской, то ее следует признавать на том основании, что библия явственно приписывает движение солнцу*. Истинный смысл таких слов был доста-

¹ De proportionibus quae gravia decidentia accelerantur Epistolae, III, Париж, 1646.

138 ГАССЕНДИ И ЦЕРКОВЬ. ОПТИКА КИРХЕРА

точно прозрачен, доказательством чему служат не прекращавшиеся нападки Морена, но церковь удовлетворялась этой мнимой покорностью. Была ли она во Франции менее уверена в своей власти, чем в Италии; страшилась ли она затеять новый инквизиционный процесс против знаменитого ученого; или же Галилей сам дал главный повод к гонению против него своей смелой полемикой против полуученых монахов? Даже современники дивились, как могло духовенство отнестись так бесстрастно к восстановлению атомистического учения, восхвалению отверженного Эпикура и возобновлению дискуссии о коперниканской системе. Обходительному, кроткому, никого не задевавшему за живое ученому, смиренному служителю церкви, простодушному Гассенди, бессознательно проповедовавшему опаснейшие учения, простились столь многое, что сравнительно свободомыслящий теолог, *Лонуа* (Launoy), говоря о Гассенди, не удержался от восклицания: «Если бы то же говорил Рамус, Литаудус, Виллониус и Клавиус, чего бы только не сделали с этими людьми!»

Мы уже имели случай говорить об *АТАНАЗИУСЕ КИРХЕРЕ* по поводу его наблюдений над магнитом. Теперь перейдем к его *оптическим работам* и некоторым сочинениям по другим вопросам. Кирхер, как уже было отмечено, не стоит на очень высокой ступени в нашей науке, и многие физики, вероятно, не согласились бы даже признать его сотоварищем; тем не менее, его работы заслуживают внимания. Они служат *приблизительным мерилom тогдашнего научного уровня и направления*, хотя в оценке их необходима осторожность: следует остерегаться приписывать эпохе в качестве типичных некоторые рискованные теории этого дилетанта-экспериментатора. Сочинение Кирхера, посвященное оптике, вышло в 1646 г. в Риме, и в 1671 г. в Амстердаме в дополненном издании под заглавием «*Ars magna lucis et umbrae*». Хотя опубликование декартовского закона преломления произошло в 1637 г., Кирхер не принимает его в соображение; составляя таблицы преломления из воздуха о воду, вино, масло и стекло, он дополняет таблицы для воды по гипотезе Кеплера. В амстердамском издании подробно описан волшебный фонарь, *laterna magica*, почти совершенно в том виде, как он существует теперь, и для большей наглядности описания приложены два прекрасных рисунка. Это дало повод приписать изобретение волшебного фонаря Кирхеру,— быть может, и неправильно; нас, однако, этот вопрос не интересует, так как в принципе этот прибор был уже дан Портой. Кирхер предпринял в 1636 г. путешествие по Сицилии в свите ландграфа Фридриха Гессенского и, между прочим, посетил Сиракузы. Тщательный осмотр убедил его, что при осаде 212 г. до н. э. римский флот мог приблизиться к стенам города на 30 шагов; а так как Кирхеру удалось сочетанием 5 зеркал зажечь горючие вещества на расстоянии 100 футов, то он вообразил, что нашел веское доказательство сожжения римского флота Архимедом. Наше убеждение в противном было изложено в свое время выше, см. ч. I.

Во время путешествия в Сицилию Кирхер обратил внимание на миражи (*Fata morgana*), довольно частые в Мессинском проливе, и нашел для них удовлетворительное, по его мнению, объяснение. Песок

морского дна на калабрийской стороне содержит много гипсовых, стекловидных и слюдообразных частиц. От чрезвычайного солнечного зноя, свойственного этим местам, частицы эти испаряются или улетучиваются в таком количестве, что образуют в воздухе зеркальную поверхность, и в ней-то отражаются перед удивленными взорами отдаленные, обычно невидимые, чудные ландшафты.

Около того же времени обратило на себя внимание другое не менее удивительное световое явление. По рассказу Пристлея в его «Истории оптики», башмачник В. Каскариоло, производя в 1630 г. алхимические опыты, заметил, что тяжелый шпат, находимый близ Болоньи, будучи оставлен некоторое время на солнце, приобретает свойство издавать слабый свет в темноте. Рассказ этот неверен, по крайней мере в части, касающейся времени; именно уже *Ма-Галла* в своей книге «*De phaenomenis in orbe lunae*» (1612) сообщает, что Галилей в разговоре с ним упоминал об этом камне и его «необыкновенных свойствах, заключаая из них, что свет не может быть материальным явлением. Кирхер подробно описывает тяжелый шпат, прибавляя, что его можно найти еще и во многих других местах, кроме Болоньи, и что свечение становится еще сильнее, если камень стереть порошок, смешать с водой, яичным белком и льняным маслом и прокалить в печке. Из поглощения света болонским камнем нельзя, однако, по правильному замечанию Кирхера, заключить о существовании особого светового вещества, как нельзя заключить того же из свечения раскаленного железного прута, когда его вынимают из огня. Подобные *светящиеся камни* или *фосфоры* сделались затем предметом внимательного изучения, и их свойствами стали объяснять всевозможные явления. Самая луна была превращена в такой фосфор для того, чтобы объяснить слабое свечение ее поверхности, не освещенной солнцем¹.

Главное достоинство книги «*Ars magna*» заключается в исследовании цветов. Кирхер не имеет достаточной математической подготовки, чтобы заниматься чисто математической теорией света; поэтому он отыскивает такие задачи, где бы недочеты в его образовании выступали менее резко, и находит желаемое в разработке вопроса о цветах. *Правда, и здесь он не прокладывает новых путей; его учение о цветах с теоретической стороны остается целиком на прежних основаниях; но зато у него можно найти целый ряд новых и интересных наблюдений.* Кирхер первый из физиков упоминает о так называемых *физиологических* (или субъективных) *цветах и световых следах*, на которых появляются эти цвета. Некий Иос. Бонакурсиус уверял, будто можно видеть в темноте. Для проверки его слов Кирхер набросал на

¹ Изучение светящихся камней было в большом ходу не только в XVII, но и в XVIII столетии. В 1675 г. Балдуин (саксонский судья) нашел, что остаток, получаемый от перегонки мела в азотной кислоте, тоже впитывает свет (балдуинов фосфор). То же свойство было замечено Гомбергом в 1712 г. на твердом нашатыре и хлористом кальции (гомбергов фосфор). Дю-Фай нашел в 1724 г. то же свойство в аметисте, гиацинте и многих других камнях. Наш современный химический элемент фосфор был открыт в 1669 г. Брандом из Гамбурга. Любопытно замечание Бэкона («*Organon*», 1620): нужно исследовать, может ли свет сохраняться в каком-либо месте; некоторые ученые объясняли сумерки оставшимся солнечным светом.

бумаге легкий рисунок и поместил его в отверстие ставни в темной комнате. Посмотрев некоторое время на рисунок, он закрыл отверстие ставни и, взглянув на лежащий поблизости кусок белой бумаги, увидел на нем разноцветные круги и изображение своего рисунка. Кирхер обращает внимание всех ученых на это явление; сам же он думает, что глаз в данном случае, подобно болонскому камню, всасывает или поглощает свет, а затем вновь испускает его. Большой интерес возбудил в Кирхере *хамелеон*, привезенный в 1639 г. из Палестины одним францисканским монахом: удивительную игру цветов этого животного он, однако, объясняет простой целесообразностью в природе. Особенно интересно его отношение к другому важному открытию: ему привезли из Мексики в подарок кубок, сделанный из дерева, которое называли *почечным*¹ в связи с его целебным действием при болезнях пузыря и почек. Кирхер заметил, что долго стоявшая в этом кубке вода при рассматривании против света не давала никакого цветного оттенка и была прозрачна; при рассматривании же сверху она казалась окрашенной в различные цвета, но больше всего в яркий голубой цвет. Бойль впоследствии продолжал эти наблюдения и нашел, что настойка почечного дерева в проходящем свете золотисто-желтого цвета, а в отраженном — голубого. Много «думал Кирхер над объяснением этого странного явления и, наконец, после многих опытов он нашел настоящую «причину и обещал изложить ее в другом месте; но, к сожалению, *позабыл о данном обещании*, и потому его отношение к явлению *флюоресценции* так и осталось для нас загадкой.

В двух трактатах об *акустике*² 1650 и 1673 гг., в которых много говорится о замечательных эхо и подземельях, повторяющих человеческие слова, Кирхер первый дает описание двух новых акустических приборов: *эоловой арфы* и *рупора*. Впрочем, его заслуга в этом отношении вызывает некоторые сомнения. Относительно первого прибора было уже давно известно, что ветер вызывает гармоническое звучание струн; что же касается второго, то он мало соответствовал назначению. Рупор в его теперешнем виде был впервые описан в 1671 г. англичанином *С. Морлендом*.

Наиболее легкомысленное из произведений Кирхера «*Mundus subterraneus in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur*» (Амстердам, 1664). Сочинение это, представляя лишь повторение ходячих теорий о внутренности земли, вместе с тем доказывает, что по отношению к темным недрам земли выдумывать басни было еще легче, чем относительно ее освещенной поверхности. «*Mundus subterraneus*» большинство явлений внутри земли объясняет существованием центрального огня и горячих паров, заключенных в ее пещерах. Центральный земной огонь (солнце тоже представляет громадную колеблющуюся огненную массу) воспламеняет накопленные в пещерах селитряные пары, вследствие чего происходят землетрясения; он вы-

¹ Burckhardt («Pogg. Ann.», CXXXIII, стр. 680) сообщает, что уже Монардес знал про эти свойства почечного дерева и описал их на испанском языке. Перевод его книжки появился в Венеции в 1575 г. По мнению Буркхардта Кирхер воспользовался ею.

² Musurgia, s. ars magna consoni et dissoni (Рим, 1650); Phonurgia nova, 1673.

ВОЗДУШНЫЙ НАСОС. ВОДОЛАЗНЫЙ КОЛОКОЛ 141

тесняет из пещер, пронизывающих всю землю наподобие губки, водянистые части в воздух. Пары сгущаются в холодных слоях воздуха и падают в виде дождя, или же, если они встречаются на пути селитряные пары,¹ — в виде снега и града. Луна похожа на землю и, подобно ей, состоит из землистых частей, воды и всякого рода солей. Вследствие такого сродства, между землей и луной происходит постоянное взаимодействие; лишь только луна осветит море, селитряные духи, задерживаемые обыкновенно водой, встают из глубины и с силою толкают воду вверх. Содержание соли в морской воде объясняется существованием обширных соляных залежей на дне моря; поэтому количество соли увеличивается с глубиной. Речная вода, впадающая в море, остается на поверхности, вследствие чего пары морской воды совершенно пресны.

Кирхер — физик старой школы, воспринявший от нового времени только некоторое умение наблюдать. Он вполне знаком с древней натурфилософией и охотно идет по ее стопам, по крайней мере, там, где наблюдение не заставляет его от этого воздержаться. Математической жилки в нем, по-видимому, вовсе нет, и это еще более усиливает дилетантский характер его сочинений.

То же следует сказать и о *КАСПАРЕ ШОТТЕ*, друге и ученике Кирхера, и сверх того товарище его по ордену. Он родился в 1608 г. близ Вюрцбурга, был впоследствии профессором богословия и математики в Палермо и умер в 1666 г. профессором математики в Вюрцбурге. Его сочинение «*Magia universalis naturae et artis*» (Вюрцбург, 1657) касается почти тех же предметов, которые Кирхер рассматривает в своей оптике. Некоторый интерес представляет только руководство к изготовлению *катоптрических анаморфоз*, неправильных и уродливых рисунков, которые в конических или цилиндрических зеркалах превращаются в правильные фигуры: впрочем, и у Кирхера и у других имеются уже аналогичные указания. В другом сочинении, «*Mechanica hydraulico — pneumatica*» (1657), Шотт продолжает признавать *horror vacui* и утверждает, что в торичеллиевой пустоте воздух не отсутствует, а только разрежен. В доказательство этого он сообщает, что в пустое пространство над водяным столбом был помещен часовой механизм, и бой его продолжал быть слышимым (Отто Герике, между прочим, обратил внимание на бездоказательность этого опыта). Книга Шотта была полезна лишь в том отношении, что автор (с согласия Герике) включил в нее описание *воздушного насоса*. В позднейшем сочинении «*Technica curiosa*» (1664) описание это было повторено; там же находится первое по времени, но, по-видимому, значительно запоздавшее сообщение о *водолазном колоколе*. В 1538 г. в Толедо, в присутствии Карла V, двое греков спустились в море в перевернутом вверх дном медном котле, и вышли невредимыми. Бэкон в своем «*Organon*» описывает (кн. II, гл. 50) тот же прибор, значительно усовершенствованный, замечая, что им давно уже пользуются для осмотра затонувших судов. Сверх того, он передает в виде слуха о каком-то челноке или кораблике, в котором можно проплывать

¹ Кирхер имеет в виду охлаждающие смеси.

142 ФОКУСНЫЕ РАССТОЯНИЯ ЛИНЗ

значительные расстояния под водой. Согласно письму Бартолинуса младшего, Франц Кеслер из Вецлара изобрел в 1616 г. «водяной панцирь», в котором можно было ходить по морскому дну, читать и писать, есть, пить и петь ¹.

Непосредственно за Кирхером следуют два оптика, весьма отличающихся друг от друга по направлению, но очень значительных.

БОНАБЕНТУРА КАВАЛЬЕРИ ² родился в 1598 г. в Милане и вступил рано в орден иезуитов, или иеронимитов. Духовное начальство в уважение к его талантам отправило его учиться в Пизанский университет; в 1629 г. он стал профессором в Болонье и там же умер в 1647 г. Он был учеником Галилея и другом Кастелли. Своей известностью он обязан, главным образом, выработанному им *новому методу исчисления поверхностей и объемов тел*. Физике он оказал серьезные услуги трактатом «*Specchio istorio*» (Болонья, 1632) и в особенности своими *Exercitationes geometricae sex* (Болонья, 1647). В последней книге он первый указал *фокусное расстояние или расстояние точек пересечения параллельных лучей для чечевиц с различными кривизнами на обеих сторонах*. Приняв показатель преломления воздуха по отношению к стеклу (равным $\frac{3}{2}$), Кавальери совершенно правильно выводит следующие законы: *во всех выпуклых или вогнутых чечевицах с кривизнами, обращенными в противоположные стороны, сумма радиусов обеих поверхностей чечевицы относится к радиусу той, которая обращена к параллельно падающим лучам, как удвоенный радиус другой поверхности чечевицы к фокусному расстоянию*. Если же кривизны обеих сторон чечевицы обращены в одну сторону, т. е. если чечевицы не двояковыпуклы или двояковогнуты, а одна поверхность их выпукла, другая же вогнута, то закон остается в силе, только вместо суммы следует брать разность. Так как математики того времени не имели еще обыкновения выражать противоположные направления знаками, то Кавальери должен был выводить свой закон для каждого из разнообразнейших сочетаний выпуклых и вогнутых поверхностей в отдельности. По этой же причине закон его не указывает противоположного положения фокуса для разных чечевиц, но требует всякий раз дополнительного указания, на какой именно стороне в каждом данном случае находится фокус.

Фокусные расстояния для лучей непараллельных, т. е. расстояния изображений светящихся точек, были впервые определены *Исааком Барроу* в «*Lectiones opticae*», изданных Ньютоном по поручению Барроу. Он также, следуя чисто геометрическому методу, вынужден был рассматривать каждый случай в отдельности. Общую формулу, годную для всех стекол и зеркал, удалось получить только *Галлею* в 1693 г.

ИОГАНН МАРКУС МАРЦИ родился в 1595 г. в Ландскроне в Богемии; был профессором медицины в Праге, где и умер в 1667 г. Одновременно с медициной он с увлечением занимался естественными наука-

¹ *E. Budde*, Widemann's Ann., XIII, стр. 208.

² Поггендорф пишет его имя так: Bonaventura Cavallieri, предостерегая против смешения с Cavalleri (кагорским профессором математики 1698—1763). Монтюкла и Уэвель пишут: Cavalleri; Вильде — Cavaleri; Фишер — Cavallerie.

УДАР ТЕЛ. СГУЩЕНИЕ СВЕТА 143

ми и — нужно признать — не только удержался на уровне быстро подвигавшейся вперед науки, но и сумел внести в нее и свой вклад. К сожалению, его изложение страдает неясностью и неопределенностью, что и было, вероятно, одной из причин незначительного влияния сочинений Марци на современников и скорого их забвения.

В книге «*De proportione motus seu reguia sphymica*», напечатанной в Праге в 1639 г., Марци с поразительным успехом разработал трудную задачу удара тел, едва затронутую Галилеем и Торичелли и столь неудачно решенную Декартом. Он начинает с разделения тел на мягкие, хрупкие и твердые. Последними (под твердыми он понимает упругие тела) он преимущественно и занимается и приходит к следующим, замечательно верным выводам: *если движущееся тело сталкивается с равным ему покоящимся телом, то само оно остается в покое, другое же тело воспринимает его движение; если два равных тела с равными, но противоположными скоростями сталкиваются, то оба отскакивают друг от друга после удара с равными, но противоположными скоростями*¹.

Второе сочинение Марци «*Thaumantias. Liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura*» (Прага, 1648) посвящено вопросу о *призматических* (т. е. получающихся при разложении света призмой) или, как их тогда называли, *кажущихся цветах*. Автор решительно восстает против старого воззрения, будто эти цвета образуются только на границе между светом и тенью, и вносит интересное предложение — *перехватить призматические цвета экраном в темной комнате для более точного их изучения*. Он утверждает, далее, что *световые лучи, падающие на призму параллельно, выходят из нее расходящимися и что преломленный однажды свет при всех последующих преломлениях сохраняет один и тот же цвет*. Мало того, он приходит к заключению, что *различно преломленные лучи должны быть различно окрашены*. Эти слова можно было бы принять за предвещение ньютоновских открытий; во всяком случае, они показывают, что в это время уже рассуждали о зависимости цветов от коэффициента преломления. К сожалению, пояснительное замечание Марци именно по данному вопросу страдает неясностью. По его мнению, *исследование различных пигментов показало ему, что посредством сгущения можно всякий цвет превратить в другой*; а, так как он вместе с тем заметил, что при переходе из среды менее плотной в более плотную угол отклонения уменьшается, то он полагал, что этим он объяснил, каким образом вообще возникают цвета при преломлении света. А так как при различной степени преломления свет соответственно сгущается больше или меньше, то Марци заключил, что каждой величине преломления соответствует и особый цвет

Сгущение света как причина цветов — представление, которым можно объяснить весьма многое. Оно, однако, не поддается математическому анализу и потому не дает оснований для дальнейшего развития.

Продолжателем физических исследований Торичелли был БЛЕЗ

¹ Montucla, II, стр. 406.

144 ЖИЗНЬ ПАСКАЛЯ

ПАСКАЛЬ. Он родился 19 июня 1623 г. в Клермон-Ферране в Оверни, где его отец был президентом податной палаты. О его феноменально раннем развитии существует столько рассказов, что их можно было бы принять за басни, если бы кратковременная жизнь этого ученого не оказалась до такой степени плодотворной в разных областях науки. В 1631 г. Паскаль поселился с отцом в Париже, где дом их посещали замечательнейшие математики и физики — Роберваль, Каркави, Мерсенн и др., под «влиянием которых мальчик очень заинтересовался вопросами геометрии. Отец, боявшийся, что вследствие такого пристрастия сын его станет пренебрегать изучением языков, прекратил уроки математики, отнял у него все книги, относившиеся к этому предмету, и упросил своих друзей не поддерживать ничем его склонности. По счастью, эти запретительные меры продолжались только до тех пор, пока отец не заметил, что мальчик изобретает собственную геометрию, проявляя при этом большой талант. 16 лет Блез Паскаль зашел уже так далеко в математике, что мог написать книгу о конических сечениях, имеющую и до сих пор научное значение. С 1647 г. начались его физические работы; к сожалению, однако, с 1650 г. его деятельность в этой области стала ослабевать и в 1653 г. окончательно прекратилась. Напряженная умственная работа рано истощила его силы; в нем проявилась склонность к ипохондрии, а с 1653 г., когда ему во время путешествия едва удалось избежать смерти, он погрузился в религиозные вопросы. Паскаль был другом янсенистов — Арно, Николя и др. В защиту первого против Сорбонны он написал в 1656 г. свои знаменитые письма: *«Lettres écrites par Louis de Montalte a un provincial de ses amis»*, выдержавшее более 60 изданий. Он умер в 1662 г., 39 лет от роду. Собрание его сочинений было напечатано *Боссю* в Париже в 1779 г.

Мы уже знаем, что Торичелли в 1644 г. сообщил своему приятелю Риччи об открытии барометра. Через него эта весть дошла до фактотума всех тогдашних физиков Мерсенна, а от последнего до Паскаля. Однако на этом длинном пути описание прибора затерялось, вследствие чего *Паскаль, повторявший опыты Торичелли с ртутью, водой, красным вином* и т. д., при изложении их в небольшой работе *«Experiences nouvelles touchant le wide»* (Париж, 1647) исходил еще из старой точки зрения *боязни пустоты*. Но зато, когда вслед за первым известием появилась книга Торичелли о давлении воздуха, Паскаль с усиленным рвением принялся отыскивать надежные доказательства торичеллиевского объяснения, которое он тотчас же признал вполне правильным.

Колебание ртутного столба в барометре не казалось Паскалю достаточным доказательством существования воздушного давления. Поэтому он постарался *удалить совершенно или насколько можно воздух над ртутным резервуаром барометра* и, добившись своей цели, увидел, что ртуть в трубке действительно упала. Не удовлетворяясь и этим, он пожелал доказать еще нагляднее *зависимость высоты ртутного столба от давления воздуха*. 15 ноября 1647 г. Паскаль писал своему зятю *Перье* (советнику податной палаты в Клермоне): «Ты понимаешь, что если бы высота ртути на вершине горы оказалась

меньшей, чем у подошвы (я так думаю по многим основаниям, хотя все, писавшие об этом предмете, придерживаются другого мнения), то из этого можно было бы заключить, что единственная причина явления — тяжесть воздуха, а не пресловутый *horror vacui*. Ясно, в самом деле, что внизу горы воздух должен быть гуще, чем наверху, между тем как нелепо предполагать в нем больший страх пустоты у подножия, нежели на вершине». По просьбе Паскаля Перье устроил, согласно описанию Торичелли, два барометра и с одним из них отправился 19 сентября 1648 г. на соседнюю гору *Puy de Dome*, вышиной в 4300 футов, другой же барометр оставил на попечение патера Шастена. Поднимаясь на гору, он наблюдал непрерывное понижение барометра; когда же по окончании экспедиции наблюдатели сравнили барометрические высоты у подошвы горы и на ее вершине, то нашли разницу ртутных столбов в 3 дюйма и 15 линий. Перье тотчас же сообщил Паскалю об успешности опыта, и последний, пораженный большим размером этой разницы, попробовал повторить опыт на меньших высотах. Он взобрался на башню парижской церкви *St Jacques de la Boucherie* и для ее высоты (около 150 парижских футов) нашел барометрическую разницу в две парижских линии. В том же 1648 г. Паскаль опубликовал новое открытие в брошюре «*Recit de la grande experience de l'equilibre des liqueurs*». Таким образом окончил свое земное поприще престарелый *horror vacui*. Уцелевшие от крушения перипатетики, хватаясь за обломки его, утешали себя мыслью, что торичеллиева пустота все же не пустота, а только пространство с разреженным воздухом; но, тем не менее, теория, что воздух не может давить на более тяжелые тела, сделалась с этих пор немыслимой в науке¹.

Однако Паскаль не удовольствовался полученными им результатами. В течение 1649—1651 гг. он был занят дальнейшими барометрическими наблюдениями, которые он изложил в своем сочинении: «*Traite de l'equilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*», оконченном в 1653 г., но появившемся в печати только в 1663 г., т. е. через год после смерти автора. В этой работе Паскаль объясняет воздушным давлением все явления присасывания, в том числе, разумеется, и многие явления прилипания (как то уже делал Галилей с *horror vacui*). Он отметил, что барометр может служить для определения разности высот местности, но понимал также, что вопрос требует дальнейшего и весьма сложного исследования. Большинство ученых того времени, принимая воздух одинаково плотным повсюду, делало отсюда тот вывод, что высоты мест наблюдения обратно пропорциональны барометрическим высотам. Паскаль же заметил, что плотность воздуха

¹ Декарт приписывает себе часть славы, выпавшей на долю Паскаля. В письмах от июня и августа 1649 г. он жалуется Каркави на то, что Паскаль, получив от него идею этих опытов, не сообщил ему первому об их результатах. Причину предосудительного умалчивания он ищет в дружбе Паскаля с его противником Робервалем. Признавая вполне, что система Декарта несовместима с *horror vacui*, и допуская, что она первая поколебала веру Паскаля в это таинственное свойство природы, мы, как и большинство других, не склонны придавать значение притязаниям Декарта, тем более, что его письма написаны на целый год позже работ Паскаля.

146 ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА. КОЛЕБАНИЯ БАРОМЕТРА

уменьшается постепенно от нижних слоев к высшим и что, следовательно, указанной пропорциональности существовать не может. Однако закон, по которому происходит уменьшение плотности соответственно высоте, был открыт гораздо позже. Подобно Торичелли, и Паскаль обратил внимание на колебания барометрического уровня в одном и том же месте; способ ведения наблюдений на *Puy de Dome* служит тому ясным доказательством. Но Паскаль пошел дальше и убедился путем наблюдений, что *колебания барометра или воздушного давления находятся в прямой связи с переменами погоды.* Он отнес эти колебания на счет *перемены ветров и изменения температуры,* рассуждая в этом случае правильнее многих других позднейших наблюдателей. Впрочем, его наблюдения были все-таки недостаточны и привели его к неверному выводу, будто барометр падает в ясную погоду и поднимается в пасмурную.

Как видно из заглавия книги, *сверх явлений, зависящих от воздушного давления, в ней рассматриваются и условия равновесия жидкостей вообще.* Паскаль, подобно Галилею, работы которого не остались, по-видимому, без влияния на него, кладет в основу своих рассуждений *закон виртуальных скоростей* и при помощи этого закона, сам того не подозревая, выводит те же правила, какие Стевин вывел уже раньше статическим путем в своих «*Beghinselen der Weegkonst*». Паскаль берет для примера цилиндр, наполненный водой и замкнутый с обеих сторон поршнями неодинаковой поверхности. При таких условиях давление, произведенное на один из поршней, будет, правда, передаваться другому соответственно отношению их поверхностей; но зато при движении пути, пройденные обоими поршнями, будут обратно пропорциональны этим же поверхностям; отсюда-то и вытекает указанное выше отношение сил давления. *Паскаль обращает особое внимание на отношение виртуальных скоростей как на общий принцип равновесия машин,* замечая: «Удивляешься, встречая в какой-нибудь новой машине тот же неизменный порядок, как и в основных, т. е. рычаге, бесконечном винте и т. д., именно, что путь увеличивается в одинаковой пропорции с силой... *Это может быть даже принято за истинную причину рассматриваемого действия,* так как, очевидно, все равно, заставить ли 100 фунтов воды пройти один дюйм или 1 фунт воды — сто дюймов пути».

Один из последних противников Коперника, *ДЖОВАННИ БАТТИСТА РИЧЧИОЛИ,* родился в 1598 г. в Ферраре, вступил на 16-м году в орден иезуитов, читал теологию и философию в Парме, затем посвятил себя исключительно астрономии и жил в Болонье в доме своего ордена до самой смерти в 1671 г. Его главное сочинение «*Almagestum novum*», напечатанное в Ферраре в 1651 г. в двух томах in folio и продолженное в «*Astronomia reformata*» 1665 г., представляет обширный компилятивный труд, в котором с похвальной точностью изложено развитие астрономии до его времени. Для нас эта книга особенно интересна по описанию опытов с *падением тел,* предпринятых Риччиоли вместе со своим учеником и другом Гримальди в 1640—1650 гг. в Болонье. Риччиоли бросал меловые шары с вершины башен преимущественно с башни *Degli Asinelli* в Болонье, имеющей до 200 футов вышины, и измерял время падения качаниями маятника, отмечавшего

ВОЗРАЖЕНИЯ РИЧЧИОЛИ ПРОТИВ КОПЕРНИКА. ИЗМЕРЕНИЕ ГРАДУСА 147

$\frac{1}{6}$ секунды. При этих опытах измерялись то пространства, пройденные за известные промежутки времени, то промежутки времени, за которые были пройдены известные расстояния. Как в том, так и в другом случае оказалось, что пространства, пройденные в последовательные равные времена, относятся между собой, как ряд нечетных чисел. Собственно говоря, *точность здесь перешла меру*; сопротивление воздуха и ошибки наблюдения должны были бы сказаться на получаемых результатах, и едва ли можно предполагать, чтобы эти влияния взаимно уничтожались до нуля. Риччиоли сверх своих опытов с падением тел занимался также определением *влияния воздушного сопротивления* и нашел, что шары более тяжелые достигают земли несколько ранее легких. Подтвердив таким образом, с одной стороны, выводы Галилея, Риччиоли воспользовался последним обстоятельством, чтобы их, с другой стороны, опровергнуть.

По убеждению или же в качестве послушного сына церкви Риччиоли был противником системы Коперника, и в своем «Альмагесте» привел против нее не менее 77 возражений. Между ними находился и знаменитый *старый довод* об отставании падающих тел от движущейся земли, но в *новой, более заостренной форме*. Если земля находится в движении и вместе с ней движутся все принадлежащие к ней тела, то действительное движение падающего тела должно слагаться из его собственного движения книзу и вращательного движения, общего с землей. Истинное движение тела должно было бы, следовательно, привести к совершенно другому закону, нежели простое падение: а так как скорость движения земли огромна, сравнительно с движением падения, то действительное движение (подобно вращению) должно было бы совершаться почти равномерно. Между тем уже Галилей заметил, что на движущейся земле мы имеем возможность наблюдать только относительное движение тела. Современники вскоре опровергли Риччиоли, указав, что он при своих выводах фактически определял *абсолютное движение* падающих тел.

Риччиоли в отношении изучения земных явлений в качестве физика имел вообще меньше достижений, чем в области изучения небесных явлений в качестве астронома. *Морские приливы* он, например, объясняет притяжением морских паров и самого моря солнцем и сверх того привлекает на помощь ветер, дующий постоянно с востока на запад и гонящий перед собой морскую воду. *Градусное измерение*, предпринятое им в 1645 г. совместно с Гримальди, причем горизонтальное расстояние мест определялось триангуляцией, дало для градуса 62650 туазов; между тем, *Р. Норвуд* простым измерением цепью в 1636 г. определил эту величину гораздо точнее, в 57 300 туазов.

Помощник Риччиоли *ГРИМАЛЬДИ* оставил после себя сочинение по оптике, которое для физики важнее всех работ его учителя. *Франческо Мария Гримальди* родился в 1618 г. в Болонье, был тоже иезуитом и профессором математики в иезуитской коллегии в родном городе, где и умер в 1663 г. Упомянутое сочинение вышло в свет спустя два года после его смерти под заглавием: «*Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride aliisque annexis libri duo*». Оно, прежде всего, известно благодаря *открытию дифракции света*. Гримальди пропустил в темную комнату

148 ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

сквозь маленькие отверстия солнечный свет, причем позади отверстия, конечно, получился конус света. В этот конус он на довольно большом расстоянии от отверстия ввел палку, (направляя тень на белую поверхность экрана. В результате получился ряд неожиданных явлений. Во-первых, *центральная тень от палки оказалась шире*, чем она должна была быть при совершенно прямолинейном распространении света; во-вторых, *по обе стороны средней тени* (в зависимости от силы света) *были видны одна, две или три полосы*, которые с края, обращенного к тени, были голубыми, а с противоположного — красными, причем яркость света и цветов уменьшалась по мере перехода от середины к краям. Но и в самой тени замечались при ярком солнечном свете *цветные полосы*. Отсюда стало ясно, что свет не только распространяется прямолинейно, но при прохождении мимо тела отклоняется в сторону от тела, а также огибает последнее.

Такое свойство света Гримальди назвал *дифракцией*, и чтобы показать отличие последней от *отражения и преломления*, он изменил постановку своих опытов. Желая устранить из опыта промежуточные тела, он ввел в световой конус металлическую пластинку с маленьким отверстием, собирая проходивший сквозь него свет по-прежнему на белый экран. Освещенный круг и в этом случае оказался больше, чем следовало ожидать по величине отверстия. Затем Гримальди проделал в ставне комнаты два отверстия и получил на экране изображения на таком расстоянии, чтобы они отчасти покрывали друг друга: получилось два темных пересекающихся кольца вокруг каждого из светлых кругов; поле же, общее обоим кольцам, оказалось гораздо светлее полей, соответствующих каждому кольцу в отдельности; кроме того, край каждого круга казался темным на освещенном поле другого. Из всех этих явлений, вместе взятых, Гримальди вывел следующее заключение: *освещенное тело может сделаться темнее, если к получаемому им свету прибавится новое количество света*. Таким образом, он точно излагает *интерференцию света*, хотя и не объясняет ее ¹. По части *объяснений* Гримальди вообще своеобразен: он не любит самостоятельно приходить к новому мнению или, по крайней мере, высказывать его вполне определенно, а предпочитает приводить различные чужие мнения, освещая их критически и не высказываясь определенно и ясно в пользу того или другого. Гримальди, без сомнения, думал о *волнообразном движении света*: зачатки волновой теории света ясно выражены в его работе, когда он, например, говорит: «Подобно тому, как вокруг камня, брошенного в воду (как вокруг центра), образуются круговые возвышения воды, точно так же вокруг тени непрозрачного предмета возникают блестящие полосы, которые соответственно форме последнего либо распространяются в длину или же изгибаются дугообразно. Далее, подобно тому, как те круговые волны представляют простое скопление воды, вокруг которого с обеих сторон тянется углубление, так и блестящие полосы суть не что иное, как свет, рас-

¹ В числе вопросов о природе света у Бэкона встречается и следующий: нужно исследовать, каким образом свет затемняется, например, более сильным светом. Ясно, впрочем, что он здесь имеет в виду не интерференцию, а преобладание сильного света над слабым.

ЦВЕТА. ОЦЕНКА РАБОТ ГРИМАЛЬДИ 149

пределенный неравномерно вследствие сильного рассеяния и прорезанный теньвыми промежутками». Однако большая разница существует между предчувствием причины какого-либо явления и действительным объяснением всех особенностей явлений на основе этой причины. От объяснения всех наблюдаемых явлений, исходя из гипотетического волнообразного движения, Гримальди был так далек, что в своих теориях должен был часто прибегать к сравнениям и аналогиям. Рассуждая о *цветах*, он, например, высказывает мнение, что *цвета должны, по всей вероятности, обуславливаться различной скоростью колебаний светового вещества*, подобно тому, как различные тоны зависят от неодинаковой скорости колебаний воздуха. Но тут же он допускает предположение (которое приходило в голову и Маркусу Марци), что *в тех местах, где световые лучи падают гуще, цвета должны быть ярче* — предположение, представляющее *отголосок старого взгляда на образование цветов из света и темноты*. Впрочем, Гримальди окончательно разрывает с теорией постоянных и кажущихся цветов; *он считает цвета составными частями света*, поясняя, что цвета могут существовать только в самом свете и что так называемые *истинные, или постоянные, цвета тел зависят от способности последних отражать падающий на них свет с особыми видоизменениями*. Объяснение различной густоты одного и того же цвета Гримальди находит в наблюдении, обратившем уже на себя внимание Марци. Подобно последнему, он заметил, что свет, пройдя через призму, рассеивается, и, следовательно, одна часть светового луча преломляется сильнее другой. Отсюда — вывод: там, где свет наименее преломлен, он всего гуще и ярче, т. е. окрашен в красный цвет; в месте же наибольшего преломления он более разряжен и получает голубую и фиолетовую окраску.

В лице Гримальди мы познакомились с известнейшим из иезуитов-физиков. Их было много в то время, и во всех них легко заметить некоторое *фамильное сходство*. Почти все они — недурные наблюдатели, перенимают умело и успешно чужие открытия, и нередко развивают их дальше. Но *пробивать новые пути вообще не их дело*. Исключение из этого правила составляет Гримальди. Он, по крайней мере, *бесспорно, первый заметил и понял явление дифракции и, изучая его опытным путем, не дал себя сбить схоластически-философскими уклонами*.

Впрочем, и он не мог пойти дальше, *не будучи в состоянии выработать вполне новых воззрений и новых теоретических основ*. Как только дело доходит до общих выводов, он становится нерешительным, сбивчивым, ставит рядом старое и новое и боязливо останавливается на сопоставлениях. Быть может, эта нерешительность — только следствие воспитания и гнетущей дисциплины ордена, не допускавшей не единого шага вперед без санкции высшего духовного авторитета.

II. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ.

(Приблизительно с 1650 до 1690 г.)

В течение предшествующего периода физике удалось поставить опыт на степень научного метода и возвысить его в общем мнении; в настоящем же периоде *увлечение опытом достигает уже односторонности, приводящей зачастую к пренебрежению прочими факторами науки. Флорентийские академики ставят себе программой исследовать, а не рассуждать*; великий экспериментатор Бойль так мало заботится о выводах из своих наблюдений, что один из учеников опережает его в открытии так называемого закона Бойля-Мариотта; повсюду научные силы устремляются на темы, где *опыту должен принадлежать решающий голос*. Вновь открытый воздушный насос привлекает общий интерес, и все наблюдения, которые производились раньше на открытом воздухе, проверяются теперь в безвоздушном пространстве. Большим вниманием пользуются явления *волосности, стеклянные слезы* и т. д. Приборы, служащие для *метеорологических наблюдений*, постепенно совершенствуются; барометры, термометры, гигрометры, анемометры, измерители дождя изобретаются во множестве, приспособляясь к самым разнообразным целям. К сожалению, всем этим приборам недостает необходимейшего качества — согласованности и сравнимости их показаний. Невзирая на все усилия, ученым не удалось получить постоянной шкалы для термометров, и даже барометры вследствие разноречивости их показаний оказываются непригодными для точных измерений. Тем не менее, термометры были, в конце концов, усовершенствованы настолько, что они исключили возможность всяких фантазий, подобных бэконовским представлениям о теплоте, и дали возможность установить существование некоторых постоянных температур, например точек кипения и др. Отдельные метеорологические вопросы возбуждали продолжительные прения, следствием которых были длинные ряды разнообразных наблюдений, в большинстве случаев, впрочем, не доведенных до конца. *Расширение тел от действия теплоты, кипение жидкостей, замерзание воды, естественное и искусственное охлаждение* были предметами, занимавшими почти каждого из естествоиспытателей. *Акустика* давала еще слишком мало пищи экспериментальной физике, и только измерения скоро-

сти звука производились с большим усердием. В оптике особенно подвинулась вперед теория цветов. Спектральные явления, цвета тонких пластинок, естественные цвета тел, цвета, образующиеся при дифракции, были изучены почти исчерпывающим образом; фосфорические явления тоже внимательно изучались. Только электричество и магнетизм странным образом остались вне общего потока. Магнетизм, правда, разрабатывался, но исключительно для практических целей мореплавания, а электричество, невзирая на открытия Герике, — только со стороны его свойства в безвоздушном пространстве.

Экспериментальное направление резко сказалось и в учреждении больших естественнонаучных академий, открытие которых приходится именно на этот период. Философ и математик требуют уединения для решения своих задач; постороннее содействие нужно им разве для постановки задач и для критики их решений. Экспериментальный же физик, напротив, во многих случаях нуждается в сотrudниках и помощниках при своих работах, а ввиду связанных с опытами денежных затрат нуждается, сверх того, в поддержке государства или друзей науки, располагающих материальными средствами. В прежнее время ученые прибегали обыкновенно к пространной корреспонденции с целью узнать о работах других и опубликовать поскорее собственные открытия. Мерсенн долго играл роль центрального бюро для сношения философов и физиков, и кроме него существовало много любителей, служивших честными маклерами в научных делах. Теперь же, по почину учеников Галилея, итальянские физики решили соединиться, чтобы при материальной поддержке великого герцога Тосканского производить совместно опыты, для которых каждому в отдельности не хватило бы рабочих сил и денежных средств. Прекрасный успех этого начинания повлек за собой образование подобных же ученых обществ и в других странах.

С 1645 г. в доме д-ра Годдарта в Лондоне стали собираться ученые для обсуждения естественнонаучных вопросов; но под влиянием политической борьбы, возникшей в Англии, это общество долго не получало дальнейшего развития. Только в 1659 г., т. е. через год после смерти Кромвеля, товарищи по науке сошлись официально в Грешамской коллегии в Лондоне, а в 1660 г. по вступлении на престол Карла II, это собрание получило правильную организацию ученого общества. Членами его были Гук, Бойль, Валлис, Врен, Броункер и др. Президентом был Вилькинс, казначеем — Бэлл, а секретарем — Ольденбург. Общество приобрело коллекцию научных приборов и библиотеку и назначило отдельного куратора (Curator of experiments) для научных работ. Король оказывал большое расположение новому учреждению, принял его 5 декабря 1660 г. под свое личное покровительство, а 15 июля 1662 г. утвердил за ним наименование Королевского общества (Royal Society) вместе с юридическими правами и патентом на владение недвижимым имуществом. В силу декрета от 18 октября 1662 г. всякое новое изобретение по физике и ме-

152 ПРЕОБЛАДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ханике должно было подвергнуться испытанию общества. С 1664 г. Королевское общество начало принимать в число своих членов и иностранных ученых; первыми из них были Гюйгенс и данцигский астроном Ревель. В 1665 г. оно поручило своему секретарю Ольденбургу издание научного журнала «*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*», продолжающего регулярно выходить и поныне.

И в Париже образовалась вскоре, по примеру лондонского Королевского общества, ученая академия. Правда, Мерсенну уже раньше удалось организовать собрание представителей науки, но только в 1666 г. получило свое начало общество, которое располагало большими средствами для научных работ. По настоянию Кольбера, оно было утверждено Людовиком XIV, получило наименование *Академии наук* и право заседания в одной из зал Королевской библиотеки, во всех же прочих отношениях оно оставалось частным обществом. Французская Академия наук пригласила в Париж Гюйгенса из Голландии, Доминика Кассини из Рима, Ремера из Дании; первыми ее членами были Роберваль, Озу (Auzout), Пикар, Каркави и др. Этой академии, начиная с 1669 г., наука обязана знаменитыми градусными измерениями, астрономическими и физическими наблюдениями в экваториальных странах и т. д. Вскоре она сделалась первым научным обществом в Европе, с которым соперничать могло только Королевское общество. Свои работы академия публиковала сначала в «*Journal des Savants*» (основанном в 1665 г.); но в 1669 г., когда она была переименована в Королевскую, начал ежегодно выходить один том ее трудов под заглавием: «*Histoire et memoires de l'academie Royale des Sciences*». Издание продолжалось до 1798 г., когда академия подверглась новым преобразованиям при республике.

В Германии после тридцатилетней войны тоже возникло ученое общество. Еще осенью 1651 г. *И. Л. Бауш*, городской врач вольного имперского города Швейнфурта, начал хлопотать об основании Академии естествоиспытателей, *Academia Naturae Curiosorum* (ad excolendas res naturales). В 1652 г. 1 января состоялось первое собрание, утвердившее устав общества. В 1672 г. оно получило санкцию императора Леопольда I, сначала только в качестве частного общества, а с 3 августа 1677 г. в качестве Имперской академии под названием *Sacri Romani Imperii Academia Naturae Curiosorum*. Император, утвердив устав и внешний распорядок новой академии, пытался направить деятельность его на разработку естественной истории и медицины. 7 августа 1687 г. последовало новое расширение прав академии; последняя получила наименование *Caesareo-Leopoldina Naturae Curiosorum Academia* — герб, сохранившийся до сих пор, — полную свободу от цензуры, привилегии против перепечатывания ее трудов, право назначать ученые степени докторов и т. д. Карл VII в 1742 г. вновь расширил привилегии академии, которая в знак признательности включила в название слово *Carolina*. Печатание ее трудов началось в 1670 г. и за исключением периода с 1792 до 1817 г. продолжа-

лось непрерывно до наших дней, изменяясь только по заглавию и по времени выхода книги¹.

Журнал этой академии имел, впрочем, больше значения для описательных наук, чем для физики и химии. Немецкие физики публиковали свои работы преимущественно в *«Acta eruditorum»*, основанных в 1682 г. профессором *О. Менке* в Лейпциге и затем издаваемых преимущественно его сыном, внуком и т. д. Журнал прекратил свое существование в 1776 г. на 117 томе in quarto. Другие немецкие академии были либо основаны позже, либо имели мало значения для физики.

Парижская и лондонская академии даже в этом периоде не сосредоточивались односторонне на экспериментальной физике. Они двигали вперед, хотя не столь быстрыми шагами, как в следующем периоде, и *математическую физику*, которая насчитывает несколько блестящих представителей. Если число математических работ было и незначительно, зато они носят печать гениальности и качеством восполняют количество. *Борелли*, а за ним *Гук* много сделали для *теории планетных движений*; было разработано математически учение об ударе тел; в *механических работах Гюйгенса* математическая физика получила могучий толчок вперед; наконец, *Ньютон* завоевал для нее целую новую область в учении о цветах. Однако и в этих великих математиках сказывается преобладающее направление разбираемого периода: все они — *Гюйгенс, Ньютон, Бернулли* и др. — по крайней мере, в молодости увлекались опытным исследованием. Лишь мало-помалу, когда математика начала сильнее развиваться, а они стали сознавать свое истинное призвание, эти гениальные люди покинули экспериментальный путь, чтобы следовать за могучим математическим движением ближайшего периода, или, лучше сказать, чтобы положить для него основание.

Натурфилософия, напротив, не сделала ни шага вперед в этом периоде. Все как будто постепенно пришли к убеждению, что еще не время думать об основании особой самостоятельной *натурфилософии*, если вообще верили в возможность такой науки. Философия, со своей стороны, мало-помалу распалась на две школы: *индуктивную*, родоначальником которой был *Бэкон*, и *дедуктивную*, основанную *Декартом*.

Индуктивная школа господствовала преимущественно в Англии. По основным свойствам своим она не могла помышлять о натурфилософии, отделенной от экспериментальной физики. В силу этого индуктивная школа, насколько она оставалась чисто философской, все более и более отходила от вопросов внешней природы, и приближалась к *антропологическим вопросам*. Ближайший последователь *Бэкона Гоббс* (1588—1679) стоит еще ближе других к естественным наукам, но и его философия уже неизбежно приводит к теории познания как основной задаче философии. *Гоббс* совершенно отрицает материю как отдельную

¹ *Leopoldina*, Heft XVIII, № 13 и 14.

сущность; особой *неопределенной материи не существует; существуют только тела, от которых мы абстрагируем понятие о материи*. Единственный способ действия тел есть движение; то, что приводит других в движение, должно двигать и самого себя, по крайней мере, в своих мельчайших частях. Следовательно, Гоббс, подобно Декарту, не допускает никакой иной силы, кроме силы инерции, а действие на расстоянии, по его мнению, тоже невозможно. *С другой стороны, Гоббс примыкает к атомистам*, признавая, что тела состоят из мельчайших частиц, которые, однако, нет основания считать неделимыми. Если способ действия тела состоит только в одном движении, то так называемые чувственные качества, например цвет, звук, запах и т. д., представляют не особые свойства тел, а только формы восприятия органами чувств ощущающего субъекта движений, исходящих из тел. Всякому движению тела, передаваемому нашим органам чувств какой-нибудь средой, например воздухом, и распространяющемуся далее по нашему телу, соответствует в последнем обратное движение. Эта реакция нашего тела есть ощущение» *Все то, что мы называем ощущениями, представляет, следовательно, лишь видоизменения нашего собственного тела, обусловленные движениями внешних тел, но не имеющие по своему характеру с ними ничего общего*. Этот сенсуализм, господствующий до сих пор в нашей физиологии, приводит к дальнейшим трудностям. Раз мы не познаем непосредственно нашими чувствами сущности вещей, раз наши чувства дают лишь знаки движений, совершенно отличные от них, — перед нами во всей силе встает вопрос, *каким образом вообще возможно правильное познание внешнего мира*. Философия очевидно, должна в первую очередь заняться этим вопросом и, следовательно, стать, прежде всего, *теорией познания*. Такою она и является в лице ближайшего преемника Гоббса *Джона Локка*¹ (1632—1704) и в его капитальном философском трактате «*An Essay concerning human understanding*» (Лондон, 1690). Однако в таком виде философия находится в очень слабой связи с физикой и может приобрести большое значение для нее, как и для других наук, только после достижения прочных и надежных выводов. До тех пор философии приходится лишь заимствовать материал исследования у точных наук, а отнюдь не руководить ими. Несколько иначе идет развитие *дедуктивной философии*, хотя, в конце концов, и оно приводит к той же точке отправления —

теории познания. Декарт, правда, думал, что дал своей философии прочные основы и обеспечил ее от всяких нападков; того же мнения держалась после него большая часть его учеников. Однако наиболее выдающиеся из его последователей, философы *Гейлинкс* (Geulinx, 1625—1669) и *Мальбранш* (1638—1715) сознавали уже необходимость и важность *новых исследований в области теории познания* и пытались упрочить основы картезианского

¹ Локк в своем мировоззрении тоже атомист и объясняет все ощущения движениями мельчайших частиц тел.

учения в этом именно направлении. Впрочем, дедуктивная школа продержалась долее индуктивной, и *натурфилософия Декарта преобладала не только в течение рассматриваемого периода, но и за его пределами во Франции, в Германии, Голландии и даже в Англии.*

В среде самих физиков наметилось значительное географическое перемещение. *Наука передвинулась на север и здесь на нетронутой почве нашла новую пищу для дальнейшего быстрого роста.* В *Италии*, — где католическая церковь следила за свободной наукой с недоверием и угрозой, где кардинальскую шляпу давали в награду за упразднение ученой академии, где ни одно светское государство не смело восставать против непосредственного вмешательства близкой папской власти в научные вопросы, — дух исследования постепенно окончательно угас. Напротив, во *Франции* с основанием Парижской академии научная жизнь быстро расцвела, хотя и не надолго, так как и здесь последовала реакция под клерикальным давлением. Отмена Нантского эдикта, уже давно нависавшая тяжелой угрозой и, наконец, приведенная в исполнение в 1685 г., лишила страну не только значительных промышленных сил, но и таких научных светил, как Гюйгенс, Ремер, Папен и др., потеря которых оставила продолжительный след. В *Англии* религиозные войны вначале тоже замедлили научное развитие; но с наступлением внутреннего покоя, после реставрации 1660 г., естественные науки оживились и достигли такого блеска, что англичане в следующем периоде сделали, бесспорно, руководящей нацией.

Германия все еще не могла оправиться от последствий своей великой войны. За исключением гениального *Герике*, не утратившего ни научного интереса, ни свежести сил среди военных бурь, едва ли можно указать в этом периоде на выдающегося немецкого физика. Зато *Голландия* дала науке *Гюйгенса* и многих замечательных математиков, а *Северные государства* достойно заявили о себе в области физики в лице *Олафа Ремера*, *Эразма Бартолинуса* и др.

ОТТО ФОН-ГЕРИКЕ родился 20 ноября 1602 г. в Магдебурге. Отец его был магдебургский патриций Ганс Герике, мать — урожденная фон-Цвейдорф из Брауншвейга. Первое образование он получил в училище своего родного города, находившегося в ту пору в периоде расцвета. Университетский курс он начал в 1617 г. в Лейпциге, но с приближением Богемской войны к саксонской границе он должен был перебраться (1620) для окончания курса в Гельмштедт. В сентябре 1620 г. умер его отец, и мать оставила его на зиму при себе. Затем в течение двух лет он пробыл в Йенском университете, занимаясь преимущественно юриспруденцией, которой предназначал себя, а в 1626 г. для усовершенствования в науках отправился в Лейден, где наряду с новыми языками много занимался физикой, прикладной математикой, и фортификацией. После свыше девятимесячного путешествия по

156 ЖИЗНЬ ГЕРИКЕ

Англии и Франции Отто Герике вернулся в родной юрод, поступил в 1626 г. в городской совет и в том же году женился на девушке из весьма уважаемого семейства, Маргарите Алеманн. Из трех детей его остался в живых только один сын. Вследствие преобразования городского управления, в котором он мало участвовал, Герике (вместе с советником Гроте) был избран охранителем и военачальником Магдебурга, и с честью выдержал осаду города полководцем Тилли. Когда, наконец, дальнейшее сопротивление стало невозможным и неприятель ворвался в город (20 мая 1631 г.), Герике поспешил к семье и вместе с ней нашел убежище у дяди, в замке Блекенбурге, пощаженном императорскими войсками (что касается его собственного имущества, то у него не осталось ничего, дом его был разграблен и слуги перебиты). Из Блекенбурга его вместе с семьей отвели в полевой лагерь при Фермерслебене, и хотя с ним обошлись хорошо, но отпустили лишь с выкупом в 300 талеров. Некоторое время спустя Герике, лишившись всяких средств к существованию, поступил в войско Густава-Адольфа в качестве генерал-квартирмейстера и инженера, и когда шведский генерал Баннер занял Магдебург, то вернулся в родной город, чтобы получить обратно свою недвижимую собственность. Он принимал деятельное участие в возобновлении разрушенных зданий и укреплений, построил через Эльбу мост на барках и служил инженером в магдебургском гарнизоне, занимаясь вместе с тем сельским хозяйством и пивоварением, так как его дом пользовался этим правом. В 1635 г., после мира между курфюрстом саксонским и императором, шведы были изгнаны, и город был занят императорскими и саксонскими войсками, оказавшимися для него большим бременем. Герике после многих хлопот и поездок к курфюрсту успел добиться замены этого гарнизона местным. *Город в знак признательности избрал в 1646 г. Герике своим четвертым бургомистром и с тех пор давал ему преимущественно дипломатические поручения.*

В том же 1646 г. Герике отправился к шведскому полководцу Торстенсону и, заручившись покровительством последнего для города, преподнес ему драгоценный письменный прибор, по-видимому, собственной работы, из вызолоченной меди, изображавшей небесный глобус, который приводился в движение часовым механизмом. В октябре 1646 г. он был послан в Оснабрюк присутствовать при переговорах о мире, главным образом, чтобы защитить свой город от алчных поползновений администратора архиепископа магдебургского. Эта цель была достигнута, так как мирный трактат оставлял за городом его старинные права, и Герике мог вернуться домой в августе 1647 г. Однако права, оставленные городу в статьях договора, были в действительности мало обеспечены, и Герике пришлось вновь отправиться в Оснабрюк, а затем, вслед за уполномоченными от воевавших государств, в Нюрнберг и, наконец, в Вену к императору. Только в начале 1651 г. мог он вернуться в Магдебург, проболев долгое время в Вене и не добившись ничего определенного в пользу своего города. По тому же делу он в 1652 г. отправился в Прагу, а оттуда — в Регенсбург хлопотать перед рейхстагом и вернулся в 1654 г. Затем в 1659 г. ему вновь пришлось ехать в Вену, где он оставался около года. По

окончании этой последней опять-таки безуспешной миссии он уже оставался дома в сравнительном покое¹.

При столь тревожной дипломатической деятельности до сих пор Герику мог посвящать своим плодотворным опытам по физике только незначительные свободные досуги; но теперь необременительные занятия бургомистра оставляли ему достаточно времени для составления обширного труда с изложением своих воззрений и открытий. Сочинение Герику, как видно из предисловия, было окончено 31 марта 1663 г., но разные обстоятельства — переговоры и недоразумения с амстердамскими издателями — задержали ее печатание. Наконец, в 1669 г. издание перешло к амстердамскому книгопродавцу Янсону (причем автор должен был получить в качестве гонорара 75 экземпляров при первом издании и по 12 при последующих). Но рисунки, приложенные к тексту, послужили поводом к новым проволочкам, так что только в 1672 г. вышла в свет книга под заглавием: «*Ottonis de Guericke Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De vacuo Spatio Primum a R. S. Gaspare Schotto, é Societate Jesu et Herbipolitanae Academiae Matheseos Professore: nunc vero ab ipso Auctore Perfectius edita, variisque aliis Experiments aucta. Quibus accesserint simul certa quaedam de Aeris Pondere circa Terram, de Virtutibus Mundanis, et Systemate Mundi Planetario; sicut et de Stellis Fixis, ac Spatio illo Immenso, quod tam intra quam extra eas funditur*». Это сочинение было разослано разным дворам и друзьям автора и произвело большое впечатление. Курфюрст Бранденбургский отзывался с похвалой об ученых заслугах Герику, а Христина Шведская писала ему, что прочла его книгу от начала до конца со вниманием и живейшим удовольствием; другие, конечно, больше, чем она, способны оценить научное значение его трудов, прибавляла королева, но и она, при всем своем невежестве, в состоянии понять, что эта книга одно из замечательнейших и удивительнейших произведений целого столетия. Впрочем, и ранее появления своего сочинения Герику был уже известен как физик. На рейхстаге в Регенсбурге он показывал знакомым устроенные им машины и приборы и получил приглашение повторить свои опыты в присутствии императора и всего собрания князей. Каспар Шотт в «*Mechanica hydraulica*» (1657) и «*Technica curiosa*» (1664) описал большую часть опытов Герику, и в 1663 г. имя его было уже настолько известно, что герцог Шеврез, проездом через Германию, нарочно заехал в Магдебург посмотреть на машины тамошнего физика. В 1666 г. император Леопольд возвел его в дворянское достоинство, после чего Герику изменил правописание своей фамилии, соответственно диплому, и стал писать von Guericke, вместо прежнего Gericke. Курфюрст Фридрих-Вильгельм Бранденбургский назначил его своим советником.

С 1676 г. Герику начал тяготиться обязанностями бургомистра и стал просить об увольнении его от должности, но окончательно добился отставки он не раньше сентября 1678 г. В 1681 г., когда в Магдебурге разразилась чума, болезненный старик, не поладивший с город-

¹ Магдебург, как известно, своих вольностей обратно не получил и в 1668 г. должен был признать власть курфюрста Бранденбургского.

158 ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОЗДУШНОГО НАСОСА

скими властями из-за имущественных вопросов, отправился в Гамбург к своему единственному сыну, бывшему там нижнесаксонским резидентом. Здесь он и умер в 1686 г. на руках жены и сына. Был ли, как это предполагалось, его прах перевезен в родной город, осталось неизвестным¹.

Побудительным мотивом к опытам Герике и открытию им воздушного насоса послужил старинный философский спор о пустом пространстве, спор, обострившийся с падением аристотелевского авторитета в естествознании и возрождением древней атомистики. Герике, стоящий, безусловно, на стороне эмпириков, утверждал, что «философы, которые держатся исключительно своих умозрений и *аргументов*, не принимая во внимание опыта, никогда не могут придти к надежным и правильным выводам относительно явлений внешнего мира. В самом деле, мы видим немало примеров, как человеческий разум, когда он не обращает внимания на результаты, добытые опытом, оказывается от истины на большем расстоянии, чем земля от солнца». По этой причине Герике и искал средство доказать наглядным опытом² существование пустого пространства. С этой целью он взял бочку, наполнил ее водой и попробовал выкачать воду посредством насоса, опущенного вертикально до дна бочки. Выкачивание удалось, но по мере удаления воды ее место заступал воздух, проникавший с шипением через стенки бочки. Тогда он попробовал окружить бочку, в которой должна была образоваться пустота, водой; но когда опыт не удался и в этом новом виде, он радикально изменил постановку опыта. Был заказан медный шар в 60—70 магдебургских мер вместимостью, с короткой выводной трубой, снабженной краном; шар навинчивался посредством трубки на цилиндр насоса, имевшего отверстие с пришлифованной металлической затычкой, которая открывалась всякий раз, когда поршень вдавливался в цилиндр. С этим инструментом Герике получил ожидаемые результаты — это был его *первый воздушный насос*. Но в его приборе был тот недостаток, что по мере образования пустоты в шаре поршень могли лишь с трудом приводить в движение двое работников. Это побудило его впоследствии укрепить цилиндр на привинченном к полу треножнике и заменить рукоятку поршневого стержня рычагом, один конец которого был прикреплен к тому же треножником. Чтобы обеспечить плотное закрывание крана у шара, он окружил соответствующую часть трубки воронкой с водой (см. рис. на стр. 166).

Уже с первым своим насосом Герике получил самые удивительные действия, ясно доказывавшие и *большую величину давления воздуха*, и *упругость последнего*. Когда выкачанный шар отвинчивался от цилиндра и кран открывался, воздух врывался в шар с такой силой, как будто хотел увлечь с собой близ стоящего человека. Уже на довольно большом расстоянии от шара у человека занимался дух; держать руку на кране было невозможно, не подвергая ее опасности быть втянутой. Когда воздух был выкачан из плоского стеклянного сосуда с параллель-

¹ *Hoffmann, Otto v. Guericke*, Магдебург, 1874.

² Торичеллиева пустота была ему еще в то время неизвестна.

ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА. МАГДЕБУРГСКИЕ ПОЛУШАРИЯ 159

ными стенками, давление внешнего воздуха раздробило его на тысячи кусков. Выкачанный шар Герике при помощи трубки сообщил с медным цилиндром около $\frac{3}{4}$ локтя в диаметре, по которому ходил поршень; последний втянулся в цилиндр до дна. Тогда 40 или 50 человек стали тянуть поршень из цилиндра, и когда вытянули его на полвысоты последнего, Герике снова сообщил цилиндр с совершенно выкачанным шаром — теперь все 50 человек уже не могли удержать на канате опускавшийся на дно цилиндра поршень. Опыт с так называемыми магдебургскими полушариями Герике показал 8 мая 1654 г. членам рейхстага в Регенсбурге незадолго до закрытия его заседаний. Он сам описывает этот опыт следующим образом: «Я заказал два медных полушария приблизительно в $\frac{3}{4}$ магдебургских локтя в диаметре, или точнее, — так как мастера не очень-то заботятся о строгом соблюдении заказанных размеров, — в 67 сотых локтя. Обе половины были совершенно одинаковы. Одна половина была снабжена краном или, скорее, клапаном, посредством которого мог извлекаться внутренний воздух из шара и впускаться наружный в шар. Кроме того, на обоих полушариях были железные кольца с пропущенными через них веревками для впрягания лошадей. Затем я заказал кожаное кольцо, пропитанное раствором воска в терпентине, чтобы оно не пропускало воздуха. Это кольцо было положено между полушариями, и из них быстро был выкачан воздух. При этом полушария оказались прижатыми к кожаному кольцу настолько сильно, что шестнадцать лошадей либо вовсе не могли разорвать их, либо разрывали с великим трудом. Когда разрыв происходил, то слышался звук вроде ружейного выстрела. Когда в пустоту полушарий вводился воздух, то равнять их было очень легко. Так как полушария после разрыва всегда несколько портились, особенно если они падали на землю, причем нарушалась их правильная кругообразная форма, то я заказал полушария большего размера, именно в 1 локоть диаметром. Но и тут медники не выполнили с точностью заказа: диаметр составлял лишь $\frac{95}{100}$ локтя. Эти полушария после откачки воздуха уже не разрывались 24 лошадьми; а когда в них был впущен воздух, они разнимались очень легко».

На рейхстаге в Регенсбурге Герике снискал особенное благоволение курфюрста Майнцского и Иоганна-Филиппа, епископа Вюрцбургского. Последний купил у него его приборы и предложил вюрцбургским профессорах повторить эти опыты в присутствии Герике. Тут-то с ним познакомился Каспар Шотт, описавший опыты Герике в сочинении, появившемся в 1657 г.

Упругость воздуха Герике доказал следующими опытами. Откачанный стеклянный шар он сообщил с другим, наполненным воздухом; из последнего воздух устремлялся в первый с большой силой и наподобие бури подбрасывал легкие тела, находившиеся в пустом шаре. Кроме того, он ввел в полость своих полушарий пузырь, наполненный воздухом, и показал, что по мере выкачивания воздуха пузырь все более и более растягивался, пока не лопнул с треском. *Убедившись в упругости воздуха, Герике заключил, что в нижних слоях атмосферы он должен быть плотнее, чем в верхних, и доказал это особым опытом, без помощи своего насоса. С этой целью он брал стеклянные шары,*

160 УПРУГОСТЬ ВОЗДУХА. МАНОМЕТР. ВОДЯНОЙ БАРОМЕТР

запирал их краном у подошвы башни или горы и затем, отворяя кран наверху башни или на вершине горы, наблюдал, что воздух выходил из шара с шипением. Когда истечение воздуха прекращалось, он запирал кран, спускался вниз и снова отворял его — теперь воздух извне входил в шар. Эти наблюдения навели его на мысль устроить прибор для измерения плотности воздуха, или манометр. Этот прибор состоял из медного шара около 1 фута в диаметре, который откачивался, плотно закупоривался и подвешивался к плечу чувствительных весов, на противоположном плече которых находился уравнивающий тяжесть груз возможно малого объема. Так как противовес вытеснял лишь незначительный объем воздуха, то Герике считал возможным принять, что его вес остается неизменным. Медный же шар при большом объеме должен был терять в весе столько, сколько весит вытесняемый им объем воздуха, и конечно, тем более чем плотнее воздух, и наоборот. В первом случае перевешивал противовес, во втором — шар. Отклонение отмечалось показателем, прикрепленным к коромыслу и ходившим по дуге круга с градусными делениями. Этот прибор описан Герике впервые в письме к К. Шотту от 1661 г.; тогда ему уже были известны открытия Торичелли, о которых он узнал от капуцинского монаха Валериана Магнуса «а Регенсбургском рейхстаге».

Еще ранее устройства этого манометра Герике пытался построить *барометр*, а именно *водяной*. По надворной стене собственного дома он вывел медную трубку в 20 локтей длины и в палец толщины, сверху надставил ее стеклянной трубкой, а нижний свободный конец погрузил в сосуд с водой. Выкачав трубку сверху, он заметил, что вода поднялась примерно на высоту 19 локтей, но не всегда оставалась на одной и той же высоте. Колебания водяного столба на несколько ладоней вверх и вниз Герике приписал изменению давления воздуха и связал их с переменами погоды. В виду этого он ввел в трубку своего барометра маленькую человеческую фигурку из легкого дерева, которая указательным пальцем вытянутой руки показывала на шкалу, помещенную подле трубки. В письме от 1665 г. к смотрителю замка в Лейпциге Любиницкому сын Герике утверждает, что ежедневными наблюдениями за этим человечком в течение 6—7 лет была доказана зависимость погоды от его положения. На этом основании *изобретение данного прибора следует отнести к 1657 или 1658 гг.* Действительно, 9 декабря 1660 г. Герике на основании очень низкого стояния человечка предсказал бурю, которая через два часа и разразилась. Устройство прибора он держал в тайне, с каковою целью все части его, за исключением стеклянной трубки с фигуркой, были закрыты. Удивление, которое возбуждал движущийся человечек, ясно показывает, с какою медленностью распространялись в то время физические знания.

Герике без устали старался извлечь все возможное из своего насоса, и разнообразие его опытов ясно свидетельствует об остроумной изобретательности немецкого ученого. *Вес воздуха он определил, взвесив стеклянный шар, наполненный воздухом и пустой*, но не преминул заметить, что собственно о весе воздуха речи быть не может, потому что с плотностью изменяется и его вес. Поместив в сосуд часовой механизм с колокольчиком, он показал, что по мере выкачи-

ВОЗДУХ И ГОРЕНИЕ. ТЕРМОМЕТР. 161

вания воздуха звук слабеет, и этим опроверг перипатетиков, которые утверждали на основании опыта *Каспара Бертуса* в Риме, что в торичеллиевой пустоте должен заключаться воздух, так как в ней слышен звон колокольчика. Поместив в сосуд зажженную свечу, Герики заметил, что в пустоте она погасла, и отсюда заключил, что *для горения нужен воздух*. Этот вывод он подтвердил и другим опытом, в котором зажженная свеча помещалась в сосуде, опрокинутом в воду. Здесь горение сопровождалось втягиванием воды в сосуд, откуда следовало, что *пламя потребляет воздух*. Из того факта, что свеча гасла раньше, чем потреблялась большая часть воздуха, Герики сделал вывод, что пламя портит воздух. В заключение он ставит вопрос, пожирается ли воздух в смысле полного его уничтожения или же он растворяется в каком-нибудь земном веществе, и склоняется в пользу последнего предположения. Чтобы настоящим образом оценить непредубежденность ума немецкого ученого и ту тщательность, с которой он производил опыты по вопросу, столь трудному для того времени, как горение, стоит лишь сравнить описанные выше факты с усилиями Декарта (в его «Началах», 1644) доказать, что лампы могут гореть в герметически закрытых пространствах годы и даже столетия, не потухая. Заметив, что *впускание воздуха в откачанные сосуды сопровождается оседанием паров*, Герики не приписал их, согласно очень распространенному тогда мнению, превращению воздуха в воду, а объяснил тем, что вода всегда находится в виде паров в воздухе. При посредстве своего насоса он старался устроить *духовое ружье*, но остался недоволен выполнением, вследствие чего оно и осталось без употребления. К устройству же *термометра* насос был применен им с положительным успехом.

Мы уже видели в начале XVII столетия, что Галилей изобрел воздушный термометр. Этому прибору Герики придал потом другую форму, которая более соответствовала его вкусу к сильным действиям. К большому полюму медному шару была припаяна медная длинная трубка диаметром в 1 дюйм, опускавшаяся от шара отвесно вниз и снова поднимавшаяся наподобие сифона вверх почти до уровня шара. Трубка была наполнена винным спиртом, сверх которого плавал медный поплавок; от последнего шла нитка, перекинутая через блок, с фигуркой на свободном конце. Фигурка показывала на шкалу, где были обозначены наибольшее тепло, наибольший холод и средняя температура для Магдебурга. Весь инструмент, за исключением шара, шкалы и фигурки, был замаскирован и прикреплен к теневой наружной стене дома Герики. Шар был голубой, усеян золотыми звездами и нес на себе надпись большими золотыми буквами: *Perpetuum mobile*. Этот прибор вообще не был точнее галилеевского, потому что на его показания помимо теплоты влияло и давление воздуха; но некоторый шаг к усовершенствованию все-таки был сделан. *Герики заметил, что крайне важна возможность сравнивать показания различных приборов, и озаботился поэтому обозначить на своей шкале постоянную точку*. За таковую он принял среднюю температуру во время первых заморозков; чтобы поставить фигурку на соответствующую точку, он выкачивал воздух из шара через запирающееся отверстие до тех пор, пока фигурка не

останавливалась на намеченной точке. К сожалению, температура эта не годилась для постоянной точки термометрической шкалы.

В заключение нельзя не упомянуть об открытиях Герике в совершенно иной области, именно в области *электричества* и *магнетизма*. Знакомясь с работами иностранных ученых, он не только проверял их, но и пытался вести их дальше. Так было с работами Гильберта и *его* последователей по магнетизму и электричеству. Чтобы наладить электрические опыты более удобно, чем Гильберт, и получать более сильные действия, Герике, устроив шар из серы величиною в детскую голову, насадил его на железную ось с рукояткой и установил на деревянном штативе. При вращении шара для натирания его служила ладонь человеческой руки. С этим-то зародышем электрической машины Герике удалось существенно пополнить скудные электрические сведения своего времени. Так, он наблюдал, что *пушинка не только притягивается натертым шаром, но через некоторое время отталкивается им*; ему даже удавалось, сняв шар с штатива, заставить пушинку плавать в воздухе. Далее он заметил, что *пушинка, раз оттолкнутая от шара, начинает притягиваться к другим телам, между прочим, и к носу экспериментатора, и снова притягивается шаром, если до нее дотронуться посторонним телом, например, льняной ниткой*. Если к пушинке, притянутой шаром, приблизить палец, то она притягивается последним, потом опять шаром, и это повторяется несколько раз. К скамейке была прикреплена деревянная стойка, с вершины которой спускалась льняная нитка более чем в локоть длины. Натертый серный шар приближался к вершине стойки, а к нижнему концу нитки подводился палец на два какой-нибудь посторонний предмет, — тогда конец нитки притягивался к последнему. Таким образом Герике показал, что *электрическая сила может распространяться по льняным ниткам на длину одного локтя*. Натирая рукою шар в темноте, он наблюдал *слабое свечение*, какое бывает при разбивании сахара, а, поднимая шар к уху, слышал *слабый треск*. Впрочем, возможно и даже вероятно, что Герике слышал при этом не звук электрического разряда, а треск от разрыва кристаллов серы, вследствие согревания его от натирания рукой. По крайней мере, у самого Герике по этому поводу мы читаем следующее ¹: «Шар обладает также способностью звучать, потому что если поднести его к уху, держа в руке, то в нем слышится шорох и треск». Еще замечательнее другое описанное перед этим наблюдение ²: «Также и вращающая сила не может быть представлена надлежащим образом поворотами шара вокруг его оси, потому что пушинка (лишь только она отклонится от шара в сторону) тотчас же под влиянием притягательной силы земли уклоняется вниз, и это мешает ей двигаться вокруг шара. Но вращательное движение в самой пушинке может быть показано очень легко, если обводить вокруг нее шар». При этом, по его словам, вращающаяся пушинка остается обращенной к шару всегда одной и той же стороной. Герике повторяет, следовательно, существовавшие в то время предположения, что вращение

¹ Experimenta nova, кн. 4, гл. 15, пар. 6.

² Ibid, пар. 5.

РОЛЬ ГЕРИКЕ В ИСТОРИИ ФИЗИКИ 163

небесных тел производится магнитными и электрическими силами. В области магнетизма Герике тоже принадлежит несколько интересных наблюдений. Он нашел, что железные прутья намагничиваются, если их слегка проковывать на наковальне, положив по направлению с севера на юг. По его наблюдениям, сами собой намагничиваются и железные прутья в оконных решетках, причем наверху оказываются северные полюсы, а внизу — южные.

Считать Герике изобретателем электрической машины едва ли возможно; его прибору, предназначавшемуся для удобной электризации больших тел, недоставало кондуктора, этой характерной по нашим нынешним представлениям части машины. Но зато ему можно приписать открытие электрического отталкивания, электрического свечения (не искр) и первых явлений, касающихся электропроводности и электрической индукции.

Из всех исследований Герике электрические обратили на себя меньше всего внимания. Герике вообще любил показывать свои опыты перед многочисленными зрителями. Хотя в своих опытах по электричеству он добился гораздо больших эффектов, чем это можно было наперед ожидать, но они все-таки не были настолько велики, чтобы получить большую известность в широких кругах.

Когда в первый раз слышишь об открытиях знаменитого магдебургского бургомистра, он представляется нам гениальным изобретателем физических приборов, но никак не ученым физиком. Крупные масштабы его опытов и значительность достигаемых ими действий кажутся как бы рассчитанными больше на то, чтобы действовать на массы, чем на служение научным целям. Однако при более вдумчивом отношении такое представление оказывается неправильным. *Герике вовсе не задавался исключительно целью удивлять публику, он всегда руководился чисто научными интересами и выводил из своих опытов не фантастические идеи, а правильные и вполне научные заключения.* Погоня за пустым пространством, казавшимся столь важным для новой атомистики, привела его к воздушному насосу; спор о давлении воздуха привел его к полушариям с их огромной доказательностью; упругость воздуха им была доказана неопровержимо; им была твердо установлена необходимость воздуха для горения и пр., и пр. Вообще мы не встречаем у него дилетантизма ни в целях, ни в умозаключениях, как это нередко бывало с экспериментаторами того времени. *Герике, конечно, не был физиком, действовавшим по определенным нормам той или другой школы; но он был больше, чем это, он обладал гениальным умом, верно схватывавшим потребности науки, будучи в то же время очень искусным экспериментатором, знающим математику, проявляющим всегда интерес к числу и мере.* В своем сочинении Герике далеко не ограничивается перечисленными нами проблемами. В его семи книгах мы находим также не лишние глубины и всегда здравые рассуждения о свете, о брожении и об устройстве вселенной. То обстоятельство, что Герике не привел своих физических открытий в систему, объясняется отчасти тем, что он как пионер науки не очень заботился о полном упорядочении завоеванных им областей, всего же больше — тогдашним политическим положением дел в Германии и общественным

164 ДАТЫ ОТКРЫТИЙ ГЕРИКЕ

положением самого Герике. Тот факт, что в течение великой немецкой войны при всеобщем истощении нации человек мог сделать столько, сколько сделал Герике, да еще человек, обремененный делами городского представительства, не может не вызвать удивления его деятельности и сожаления, что ему суждено было быть бургомистром в столь тревожное время. При всем том он, наряду с Кеплером, бесспорно, — величайший из немецких физиков XVII столетия и один из значительнейших физиков вообще. Для нас, немцев, это — светлый образ на фоне эпохи великого национального бедствия.

Времени отдельных своих открытий Герике сам не указывал. До сих пор временем изобретения воздушного насоса считали 1650 г.; но это во всяком случае неверно, так как с марта 1649 по март 1651 гг. Герике был вне Магдебурга в Оснабрюке, Нюрнберге и Вене, где, при многочисленности дипломатических занятий и своей болезненности, он сделать этого открытия не мог. Д-р Церенер¹ относит все физические открытия Герике к 1632—1638 гг., потому что такого мнения держится правнук Герике Ф. Бидерзее и потому что во всю жизнь Герике вплоть до 1663 г., когда «Experimenta nova» были окончены, у него не было периода более спокойного. Нам же эта дата кажется слишком ранней, так как Бидерзее относит, например, к периоду до 1646 г. и изобретение барометра с человеком, а по приведенному выше свидетельству сына Герике это изобретение приходится на 1657 или 1658 г. Правда, начиная с 1638 г., а еще больше с 1642 г., время у Герике поглощалось преимущественно ненаучными делами, но это еще не значит, что оно поглощалось полностью. Возможно, что он закончил свои первоначальные опыты в полуторагодовые промежутки с августа 1647 г. по март 1649 г. или с начала 1651 г. по август 1652 г., которые он прожил в Магдебурге, и только после этого пришел к устройству своего насоса. Это кажется нам тем правдоподобнее, что с 1638 по 1651 г. об опытах Герике нет никаких сведений, а они при их масштабе не могли бы остаться незамеченными.

Мунке² указывает (на основании данных гинденбургского «Magasin'a», X, 120), что Герике уже в 1651 г. подарил воздушный насос Кельнскому магистрату. Герланд³ считает эту цитату неверной. Если согласиться с последним, то следует *позднейшим сроком изобретения воздушного насоса считать 1652 г.*, так как с августа 1652 г. до 1654 г., когда Герике показывал свои опыты в Регенсбурге, он в Магдебурге не провел и четырех месяцев.

Относительно электрических опытов Герике д-р Церенер утверждает, что он занимался ими не позже 1653 г., так как из писем Герике к Шотту якобы явствует, что с 1653 г. он исключительно занимался безвоздушным пространством. Но тогда и эти опыты следовало бы отнести к промежутку с 1632 по 1638 г.

Однако, последнее по указанным ранее соображениям неприемлемо, а так как и отрицательное показание писем кажется нам недоста-

¹ Otto v. Guericke's Exper. nova neu edirt und mit einem hist. Nachwort versehen von Dr. Zerener, Лейпциг 1881.

² Gehler, Physik. Wörterbuch, 2-te Auflage, VI, 527.

³ Bericht über d. wissenschaftliche Apparate, стр. 33.

ЖИЗНЬ БОЙЛЯ. АТОМИСТИКА 165

точно надежным, то мы в качестве позднейшей даты для электрических открытий Герике берем 1663 г., в течение которого по собственному показанию последний закончил свою работу.

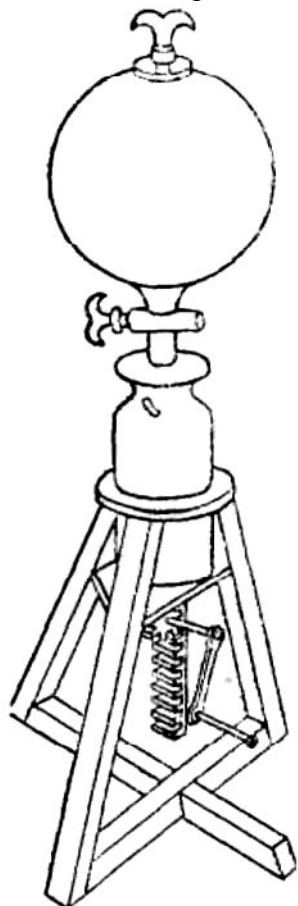
Из аппаратов Герике воздушный насос и два полушария сохраняются в Берлинской библиотеке. Другой насос, приписываемый Герике, сохраняется в городской библиотеке Магдебурга (Hoffmann, стр. 220). О первой электрической машине (?) Герике, попавшей в 1815 г. в собрание Брауншвейгской политехнической школы, см. Zerener, Nachwort, стр. IX и X.

Прямым наследникам Герике по пневматическим опытам был Бойль. *РОБЕРТ БОЙЛЬ*, сын графа Ричарда Коркского, родился 25 января 1627 г. в Лисморе (Ирландия, графство Корк). Образование, полученное им в Итоне, он восполнил путешествиями по Франции, Швейцарии и Италии. Получив значительное состояние по смерти отца, он поселился сначала в своем ирландском поместье Стальбридже, где занимался преимущественно религиозными и философскими вопросами. Но в 1654 г. он переселился в Оксфорд, стал заниматься больше химией и физикой и поступил в члены только что образовавшегося научного общества. В 1668 г. он последовал за этим обществом в Лондон, где и умер в 1691 г. (30 декабря). Он всю жизнь оставался холост и не занимал никакой публичной должности; всю свою жизнь он посвятил религии и естествознанию. Будучи строгим, даже нетерпимым последователем англиканской церкви и в то же время горячим защитником и проповедником христианства, он, тем не менее, смотрел на вселенную с чисто механической точки зрения, и одна только целесообразность механизма самоуправления вселенной приводила его ум к признанию творца с его высшим разумом и всемогуществом. Его многочисленные сочинения появились сначала на английском языке, потом большей частью в латинском переводе; многие из его работ помещены в «Philosophical Transactions». Полное собрание сочинений Бойля издано в 5 томах Т. Бирчем в 1744 г. (Лондон).

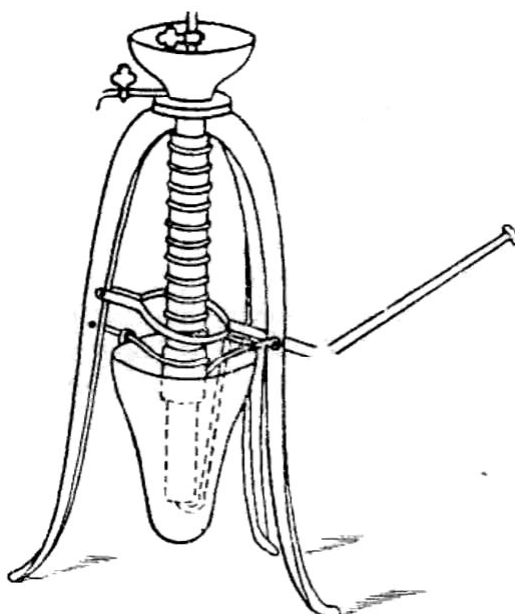
По философским основам своего мирозерцания Бойль был приверженцем Гассенди и вместе с последним был почитателем Эпикура. Подобно древним атомистам, он принимает существование абсолютно пустого пространства, в котором заключены мельчайшие частицы материи, имеющие определенную форму, величину и движение. Обсуждая агрегатные состояния веществ, он полагает, подобно Декарту, что атомы жидкостей находятся в постоянном движении, а частицы твердых тел — в покое. Промежутки между атомами он тоже не считает совершенно пустыми, а заполненными тонкой материей, не оказывающей почти никакого сопротивления. В доказательство постоянного движения жидких частиц он указывает на растворение твердых тел, а также на постоянное смещение жидкостей, например белого вина с красным. Однако Бойль не считает, подобно Декарту, инерцию материи единственной причиной твердости. Атомы твердых тел он представляет

¹ О воззрениях Бойля на материю и ее свойства см. в „Sceptical Chemist“ (1661); Origin of forms and qualities according to the corpuscular philosophy (1664; Physiological Essays (1661).

себе продолговатыми и многообразно переплетенными друг с другом. Для больших же масс он привлекает на помощь, — как некогда Галилей *horror vacui*, — еще давление воздуха. К последней мысли Бойль был приведен наблюдением, что матово отшлифованные стеклянные пластинки плотно прилипают друг к другу. От него, правда, не ускользнул тот факт, что слипание продолжается и под колоколом воздушного насоса, но он считал, что оно при этом ослабевает¹. Выводя все изменения вещества из соединения и распада атомов,



Черт. 9. Насос Бойля.



Черт. 10. Усовершенствованный воздушный насос Герике.

Бойль отвергал не только четыре основных элемента Аристотеля, но и три элемента алхимиков, утверждая, что таких элементов много и что они будут постепенно открыты по мере разложения веществ. Из сочинения Каспара Шотта (1657) Бойль познакомился с опытами Герике. Принявшись тотчас же за их повторение, он изложил результаты своих работ в сочинении «*New experiments physico-mechanical, touching the spring of the air*» (Оксфорд, 1660). Здесь он описывает новый насос, устроенный при содействии Гука, тождественный по принципу с насосом Герике, но более удобный для работы. Бойль удержал первую форму насоса с краном и затычкой, но укрепил прибор на штативе и устроил поршневой стержень с зубцами, которые

¹ Подобные воззрения на причину твердости были тогда распространены повсеместно. Оноре Фабри в своей «*Physical*» (1669) утверждал, например, что частицы твердых тел сцепляются наподобие зубьев пил своими выступами и углублениями или переплетаются, как волокна в дереве.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗД. НАСОСА. ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА 167

захватывались зубчатым колесом с рукояткой. С таким насосом мог уже управиться один человек, и работа облегчалась еще тем, что в приемнике, имевшем форму бутылки, сделано было отверстие, плотно запиравшееся пластинкой. Впрочем, мы уже упоминали, что Герике впоследствии усовершенствовал свой прибор: благодаря предохранительному запору поршня и крана водой он мог доводить разрежение воздуха значительно дальше, чем Бойль. Приведенные здесь схематические чертежи дают общее понятие о приборах обоих исследователей. Подтвердив все результаты своего предшественника, Бойль прибавил к ним несколько новых. Он *наблюдал, что ртуть падает, когда над ртутной ванной барометра выкачивают воздух; что в пустоте течение воды по сифону прекращается; что дым в пустом сосуде сначала несколько поднимается, а потом, подобно всякому тяжелому телу, падает на дно; что и в пустоте получается тепло при трении определенных тел друг об друга, а также и при гашении извести*. Наконец, к большому своему удивлению, он сделал открытие, что теплая вода в разреженном воздухе закипает, холодную же этим путем до кипения довести невозможно. Далее, Бойль нашел, что воздух от горения изменяется и что в пустоте не удастся зажечь многих тел, легко воспламеняющихся при обыкновенных условиях. Однако в данном вопросе Герике ушел дальше, так как Бойль даже не заметил, что часть воздуха при горении поглощается.

Несмотря на множество уже существовавших в то время очевидных доказательств, некоторые поклонники древних все еще не могли понять, как может жидкость, столь тонкая и податливая во все стороны, как воздух, уравнивать столб ртути в 28 дюймов. К числу их принадлежал и люттихский профессор *Франциск Линус* (1595—1675), нашедший, что ртуть удерживается в верхнем конце барометра невидимыми нитями (*funiculi*) и что он сам почувствовал эти нити пальцем, когда закрывал им, как затычкой, барометрическую трубку. Против него-то Бойль и написал *«A defense of the doctrine touching spring and weight of the air»* (Лондон, 1662), брошюру с экспериментальными доказательствами закона, который был важнее всех доводов Линуса. Чтобы убедить Линуса в существовании сопротивления воздуха, он взял изогнутую в виде сифона стеклянную трубку с запаянным коротким коленом и наполнил ее через длинное (открытое) колено ртутью. По мере приливания ртути воздух в коротком колене сжимался, но продолжал уравнивать все больший и больший столб ртути. После этого Бойль составил таблицу уменьшающихся объемов воздуха и соответствующих избытков давления в длинном колене; но отношение между обеими этими величинами он оставил без всякого внимания. Оно было подмечено лишь его учеником Ричардом Тоунлеем, который сделал на основании таблиц Бойля тот вывод, что *объемы сжимаемого воздуха обратно пропорциональны силам давления*. Бойль согласился с правильностью этого закона и доказал, что он распространяется и на давления меньшие атмосферного. Тем не менее, этот основной закон аэростатики не сохранил имени первого, открывшего его ученого, а связан с именем (закон Мариотта) другого физика, который лучше Бойля сумел оценить его

168 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ. ЦВЕТА ТЕЛ

значение. Против старого мнения, будто более легкие жидкости не производят никакого давления на более тяжелые, Бойль выступил в своем исследовании о равновесии жидкостей *«Hydrostatical paradoxes»* (1666). Однако здесь он, в сущности, не пошел дальше Стевина, и сочинение это для нас интересно только в том отношении, что оно указывает, какие положения в то время считались парадоксами.

После появления оригинального сочинения Герике (1672) Бойль повторил также его опыты по электричеству и магнетизму, и прибавил к ним кое-что новое. *Все тела обнаруживают большую электрическую силу, если перед натиранием их чисто вытереть и нагреть; дым пламени притягивается наэлектризованными телами, как всякое другое легкое вещество; не только ненаэлектризованное тело притягивается наэлектризованным, но и, наоборот, второе притягивается первым.* Наконец, оказалось, что *в пустоте электрические опыты удаются так же, как в обычных условиях.* Однако железо, в начале выкачивания продолжавшее прочно удерживаться магнитом, с увеличением разрежения отпадало. Отсюда Бойль сделал вывод, что воздух, не играя роли в притяжении железа, содействует удержанию последнего магнитом; в действительности же ему следовало подумать, не влияет ли здесь все более и более усиливающееся сотрясение прибора при выкачивании воздуха.

Исследования Бойля о свете помещены в сочинении *«Experiments and considerations touching colours»*, появившемся впервые в Лондоне в 1663 г. Целый ряд наблюдений убедил его, что часто изменения поверхностей тел, которые нельзя считать настоящими вещественными изменениями, вызывают перемену их цвета. К таким случаям он причисляет: изменение цвета стали при закаливании, изменение цвета расплавленного свинца, когда его поверхность быстро очищается от землистого налета, изменение цвета плодов при нагревании и т. д. *На этом основании он не считает окраску свойством самих тел; он отрицает существование постоянных цветов* и полагает, что цвета производятся определенными изменениями света на поверхности тел, действующими различно на глаз. *Белые тела — это те, которые всего полнее отражают его; черные — те, которые всего сильнее поглощают его.* Вот доказательства: кровельная черепица, выкрашенная наполовину в черный цвет, оказывается на солнце гораздо теплее в черной своей половине; зажигательное зеркало зажигает черную бумагу значительно скорее, чем белую; даже рука в черной перчатке становится теплее, чем в белой. Прочие цвета распределяются между белым и черным, так что, смотря по количеству отраженного света, получается последовательно красный, желтый, зеленый и голубой. *Бойль первый упоминает о цветах тонких плёнок*, которые он наблюдал на спирте и скипидаре, взбалтывая их до появления пузырей, также на мыльных пузырях и тонких стеклянных шарах. Такие цвета, прибавляет он, можно видеть на всякой жидкости. Бойль обратил также внимание на зеленую окраску тонких золотых листков в проходящем свете. *Объяснения этих замечательных явлений он не нашел и, по-видимому, не искал.* Во всяком случае, его мысль, что все вообще цвета суть видоизменения белого света поверхностью тел, была важным шагом вперед в сторону Ньютона, который, действительно,

ОПЫТЫ НАД ВОДОЙ И ЛЬДОМ 169

три года спустя после выхода книги Бойля представил Королевскому обществу свое первое сочинение о теории цветов.

Нам остается еще упомянуть о некоторых других интересных опытах Бойля. Он повторил старые опыты с выращиванием растений в воде и пришел к заключению, что вода при этом процессе *как бы превращается в землю*. Производя затем перегонку воды до 200 раз, он при каждой пробе получал землистые осадки; однако он не считал этого результата достаточно убедительным и высказал предположение, что некоторая *часть* земли может происходить от стеклянных сосудов, служивших при перегонке. *Бойль считал упругость воды весьма вероятной* на том основании, что при сильном выкачивании воздуха вода как бы растягивается, а при обратном впуске воздуха она как бы сжимается; и далее, на основании опыта с наполненным водой оловянным шаром, по которому он ударял плоским молотком: вода била при этом кверху высокой струей из сделанного в шаре отверстия. От Бойля не ускользнуло, что вода всегда содержит некоторое невидимое количество воздуха, и он считал возможным объяснить упругость воды присутствием в ней воздуха. Бойль заметил относительную легкость замерзшей воды и был склонен поставить ее в зависимость от воздушных пузырьков, находящихся во льду. *Громадную силу расширения воды при замерзании он показал* на опыте с ружейным дулом, которое было наполнено водой и оказалось разорванным на одном конце после двухчасового пребывания на морозе. Лед, по его мнению, *испаряется постоянно даже при сильном холоде*. Из жидкостей вовсе не замерзают или же замерзают с трудом: азотная кислота, спирт, соляная кислота, эфирные масла; относительно ртути Бойль указал на желательность опытов в холодных странах. Он производил много исследований с охлаждающими смесями, причем сделал важное открытие, что *все соли, производящие холод в смеси со льдом или снегом, при этом сами растворяются*.

Бойль был замечательным экспериментатором. Во многих вопросах он успешно конкурировал с флорентийскими академиками (о которых будет вскоре речь), а во многих соприкасался с ними. Планы всех его *опытов разрабатывались и выполнялись крайне тщательно, причем полученные результаты нередко проверялись многократными повторными опытами*. Он проник опытом во все почти отделы физики; везде находим мы его за проверкой старых и новых данных, притекающих к нему с разных сторон благодаря его обширным сношениям с учеными его времени. При этом все свои опыты он описывает с *такой точностью* (этим особенно пренебрегали в прежнее время), что повторное их воспроизведение не представляет затруднения. В пределах опытного исследования — однако не дальше — Бойль равен любому из новых физиков. К сожалению, он ограничивался только мастерским выполнением опытов. Когда же опыт удавался и получался достаточно надежный результат, его интерес к данному вопросу угасал. *Констатирование фактов для него — все, о разъяснении их смысла он так мало заботился, что ни разу не хотел высказаться в пользу какой-либо из нескольких возможных теорий. Встретить у него искусное применение гипотезы представляет большую редкость..*

170 ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОЙЛЯ

В этом отношении его можно считать под сильным влиянием бэконовских учений. Согласно требованиям последнего Бойль собрал в отдельных областях материал для индуктивных умозаключений, противопоставляя друг другу в свободной форме положительные и отрицательные инстанции. Он не пошел, однако, дальше, быть может, вследствие убеждения в бесплодности этого пути. При таких условиях Бойль не мог подвинуть физику в той мере, как следовало ожидать по количеству его работ и по его искусству в области экспериментирования. Свое важнейшее достижение в области физики — открытие закона обратной пропорциональности между давлением и объемом газов — он завершил не прежде, чем его ученик сделал из добытых им результатов первый вывод, вследствие чего наука именно здесь и проглядела права Бойля на первенство.

В одном только случае Бойль следовал теоретическому пути; я имею в виду теорию атомов, с которой он, по собственным его словам, познакомился, к сожалению, слишком поздно. Хотя и здесь он опасался зайти чересчур далеко в своих выводах, тем не менее, наибольшим значением своим в науке он обязан именно атомистике. *Положив атомистику в основу своих химических взглядов, отбросив старые натурфилософские и алхимические элементы и обратив внимание на основные вещества, которые должны быть открыты по мере разложения тел; объясняя все химические изменения соединением и разъединением атомов, — Бойль установил для химии начала, которые она в наше время с блестящим успехом разработала, и таким образом сделался до известной степени родоначальником новейшей чисто научной химии.* Впрочем, даже в области химии его способность к обобщениям оказалась недостаточной. Наблюдения над изменением воздуха при горении не навели его, например, на мысль о происходящем при этом потреблении одной из составных частей атмосферы; своими наблюдениями над увеличением веса металлов при обжигании он тоже не сумел воспользоваться; а такие важные открытия, как получение газов из извести и уксуса или из железа и соляной кислоты, дали ему только повод высказать мысль, что воздух может быть получен также и искусственно.

Наука, тем не менее, всегда с полным основанием высоко ценила заслуги Бойля. Что же касается его соотечественников, то они в своем энтузиазме не только признавали его действительные заслуги, но и приписывали ему чужие открытия, повторенные им для проверки. Так, патриотическое усердие побудило их не совсем извинительным образом проглядеть заслуги Герике и приписать их своему земляку Бойлю.

Под покровительством великого герцога Токсанского Фердинанда II (1610—1670) и его брата принца Леопольда Медичи (1617—1675) была учреждена в 1657 г. знаменитая *ACCADEMIA DEL CIMENTO*, Академия опытов. Оба брата живо интересовались физикой, хотя не настолько, чтобы оставаться верными науке в трудных обстоятельствах. Фердинанд II отказался защищать своего придворного математика и бывшего учителя Галилея против инквизиции; и оба брата не задумались принести в 1667 г. свое создание, академию, в жертву, когда Рим потребовал упразднения ненавистного ему учреждения.

ACCADEMIA DEL CIMENTO. ЕЕ СОТРУДНИКИ 171

в обмен за кардинальскую шапку для председателя академии принца Леопольда. Академия просуществовала, таким образом, не более 10 лет. Она состояла из 9 членов и нескольких корреспондентов.

Наиболее выдающимися членами ее были: 1) *Винченцо Вивiani* (1622—1703), известный уже нам в качестве ученика Галилея; 2) *Джиованни Альфонсо Борелли*, о самостоятельных работах которого будет речь впереди; 3) *Франческо Реди* (1625—1676), лейб-медик великого герцога; 4) *Лоренцо Магалотти* (1637—1712) секретарь академии и великого герцога; 5) *Антонин Улива* (умер 1668); 6) *Карло Ренальдини* (1615—1698), профессор математики в Пизе, а затем в Падуе и 7) *Кандидо дель-Буоно* (1618—1676). Из корреспондентов академии заслуживают внимания: кардинал *Риччи* (1619—1682); астроном *Кассини* (1625—1712), профессор математики *Монтанари* (1633—1687); замечательный геолог *Николай Стеноне* (датчанин, настоящее имя которого было, вероятно, Стеен); библиотекарь парижской королевской библиотеки *Тевно* (1620—1692) и иезуит *Оноре Фабри* (1606—1688). Флорентийские академики работали совместно и публиковали свои труды сообща, не выделяя заслуг того или другого лица. Работы академиков были изданы под заглавием: *Saggi di naturaii esperienze fatte neil Accademia del Cimento* (Флоренция. 1667). Голландец *П. Мушенбрек* перевел эту книгу на латинский язык: *Tentamina experementorum naturalium captorum in Accademia del Cimento* (Лейден, 1731); а в 1841 г. на собрании итальянских естествоиспытателей великому герцогу Тосканскому Леопольду II был поднесен в дар экземпляр «Трудов» академии в новом издании, дополненном и исправленном заботами *Антинори*.

«Saggi» разделяются на тринадцать глав, содержание которых мы здесь вкратце приводим.

7. *Об измерительных приборах.* Флорентийцы первые стали употреблять *настоящий термометр*, у которого из трубки и шара удален воздух, а верхний конец залит герметически сургучом, чтобы давление воздуха не могло влиять на прибор; кроме того, они первые стали наполнять термометр спиртом вместо подкрашенной воды. С другой стороны, шкала на термометрах осталась совершенно произвольной, число принятых градусов в различных приборах было неодинаково, и постоянные точки определялись только по наибольшему зимнему холоду и наибольшему летнему зною во Флоренции. Таким образом сравнение показаний различных термометров было все еще невозможно. Этот прибор, впрочем, существовал уже в 1641 г., т. е. еще до основания академии; по-видимому, он был сделан по мысли самого великого герцога Фердинанда II; насколько помогли ему при этом придворные ученые, остается неизвестным. Разным образом Фердинанду приписывают изобретение *гигрометра*, применявшегося флорентийцами. Де-Куза и Мерсенн упоминают уже о наблюдениях над влажностью воздуха; но прибор флорентийских академиков впервые был приспособлен для подобных измерений. Он состоял из жестяной воронки, наполненной внутри толченым льдом; на наружной поверхности оседала влажность, стекавшая с конца воронки в измерительный сосуд. Наконец, нужно еще заметить, что флорентийцы

употребляли оба рода *ареометров* (весовой и объемный) для определения удельного веса и *бифилярно подвешенные маятники* для определения времени.

2. О *воздушном давлении*. В этом отношении флорентийцы мало в чем опередили Герики и Бойля, хотя и повторяли их опыты с большею тщательностью. Флорентийцам принадлежит, впрочем, открытие, что капиллярное притяжение совершенно не зависит от давления воздуха.

3. Об *искусственном замораживании воды*. В этой главе описаны почти те же опыты, которые делал Бойль с расширением и уменьшением удельного веса льда и с охлаждающими смесями.

4. О *естественном льде*. Эта глава особенно замечательна изложенным в ней наблюдением, что холод, подобно теплу, распространяется путем излучения. Академики поставили вогнутое зеркало на значительном расстоянии от глыбы льда в 500 фунтов и нашли, что в фокусе зеркала термометр заметно понижается.

5. *Расширение тел от теплоты* доказывалось флорентийскими учеными при помощи различных приборов, идея которых заключалась большею частью в том, что тело, свободно проходившее в холодном состоянии через отверстие, не могло пройти в него после нагревания. Производя эти опыты, они наталкивались на многие явления, оставшиеся более или менее необъясненными. Так, например, стеклянный термометр, опущенный в кипяток, в первое мгновение снижался, вследствие того, что, по их правильному объяснению, стекло расширялось сильнее жидкости. *Когда же они в кипящую воду опускали небольшой сосуд с толченым льдом, термометр оставался неподвижным.* Флорентийцы открыли, таким образом, постоянство точки таяния льда, но не знали, как объяснить это явление. Они не обратили на него должного внимания, вероятно, потому, что не были в состоянии объяснить его и не догадывались об его общем значении. Также непонятым остался тот факт, что железный прут, уравновешенный другим таким же прутом на чашке весов, при нагревании поднимался, но, во всяком случае, они не вывели отсюда заключения, что нагретые тела становятся легче.

6. *Опыты над сжимаемостью воды* привели к отрицательному результату.

7. При исследовании *абсолютной легкости тел* оказалось, что даже более легкие тела не поднимаются в более тяжелой жидкости, если некоторое количество последней не проникает под тело.

8. 9 и 10. *Опыты с магнитом, с электричеством и с изменениями цветов некоторых жидкостей* не дали ничего нового.

11. Глава о *скорости распространения звука* содержит ряд опытов, произведенных по способу Гассенди и Мерсенна, но с большею точностью; оказалось, что скорость звука равна 1111 парижским футам в секунду.

12. *Опыты с движением брошенных тел* дали полное подтверждение законов Галилея.

13. Тринадцатая глава включает в себе описание различных опытов, из которых особенно замечательны опыты по измерению скорости распространения света. Они были поставлены по методу опреде-

ления скорости распространения звука и, разумеется, не дали никакого результата¹.

Флорентийской академии расточали много похвал, и мы не имеем ни малейшего намерения уменьшать ее заслуженной славы. *При правильной оценке флорентийцев не следует упускать из виду, что они были только экспериментальными физиками и не хотели быть ничем иным; при таком условии мы не станем удивляться, если находим следы их работ везде, где дело идет о надежном установлении фактов, и почти не видим какого-либо их участия там, где на сцену выступает развитие широких и плодотворных физических теорий.* Флорентийцы сами заявили, что они намерены изучать явления, а не истолковывать их. Для первой совместной работы многих ученых такая программа являлась наиболее разумной. Действительно, производить опыты соединенными силами и средствами удобнее, чем порознь: думать же сообща, а тем более изобретать совместно едва ли удобнее. Но, с другой стороны, необходимо, чтобы в дополнение к подобной совместной работе кто-нибудь один занялся объяснением фактов, разработкой теории, и затем, далее полезно, чтобы эта теория обсуждалась и проверялась общими силами. *Тот факт, что академия ограничилась одним опытным исследованием, был знаменем времени.* После того как для опыта удалось завоевать признание и почет, построение теорий и гипотез упало в общем мнении, и оба течения начали впадать в противоположную крайность. В то время как Галилей был далек от простого экспериментирования, ученики его в первом, втором и третьем поколении основали чисто экспериментальную академию.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что члены флорентийской академии, за исключением Борелли, не оставили после себя никаких работ по теоретической физике и что Академия опытов в Италии ознаменовала собой не период нового расцвета физики, а напротив, конец одной из славнейших эпох итальянской науки. Академии, ярко освещавшей небольшое пространство вокруг себя, недоставало тех лучей, которые способны бросать свет на пути, ведущие вдоль, и под ее сенью наука, по крайней мере, в Италии, не имела возможности завоевать себе новых областей.

¹ Имена членов Академии и содержание «Saggi» — преимущественно по Poggendorf, «Gesch. d. Physik», стр. 350—403.

174 БОРЕЛЛИ. ТЕОРИЯ ПЛАНЕТНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Но не на одной академии лежит, на наш взгляд, исключительная и даже главная ответственность за это. *Политические и религиозные влияния были здесь сильнее всех других; они, быть может, и были причиной, приведшей академию к такой односторонности.* Как враждебно ни вела себя церковь по отношению к новому направлению естествознания, она не могла преследовать простого открытия фактов. Напротив, выводы из добытых результатов представляли сравнительно опасную вещь, и тот, кто оказывался неудобным церкви с этой стороны, мог жестоко поплатиться. Флорентийская академия, покровители которой уже однажды обнаружили свое бессилие перед римским престолом, имела, следовательно, достаточные причины сосредоточиться на простом наблюдении. Впрочем, и это не могло вполне обезопасить ее, как это видно из ее безвременного конца после едва десятилетнего существования.

Из приборов флорентийской академии донныне сохранились спиртовые термометры, ареометры, гигрометры, плотно закрывающиеся металлические шары (для опытов над сжимаемостью воды) и естественный магнит в арматуре (Gerland, Leopoldina, Heft XVIII).

Между флорентийскими физиками наибольшим богатством идей отличался *ДЖИОВАННИ АЛЬФОНСО БОРЕЛЛИ*, бывший вместе с Вивiani движущей силой академии. Родившись в 1608 г. в Кастельнуово близ Неаполя, Борелли учился в Риме, сделался в 1649 г. профессором математики в Мессине, и в 1658 г. профессором в Пизе, а затем членом флорентийской академии. После упразднения последней он вернулся в Мессину, откуда должен был бежать в 1674 г., будучи замешан в неудачном восстании против испанцев. Он умер 31 декабря 1679 г. в Риме в крайней нужде.

Деятельность Борелли была весьма разносторонней. Он был не только выдающимся физиком, но также хорошим математиком и астрономом. В 1666 г. вышло его сочинение «*Theoria Mediceorum planetarum ex causis physic Is deducta*», основанное на многолетнем наблюдении спутников Юпитера и очень интересное с точки зрения физики по изложенной в нем теории тяготения. *Борелли первый высказал мнение, что круговое движение небесных тел должно быть объяснено не только притягательной силой центрального светила, но также центробежной силой, происходящей от инерции тел.* «Предположим, что планета стремится к солнцу и в то же время своим круговым движением удаляется от этого центрального тела, лежащего в середине круга. Если обе противоположные силы равны между собой, то они должны уравновеситься; планета не будет в состоянии ни приблизиться к солнцу, ни отойти от него дальше известных пределов, и в таком равновесии будет продолжать свое обращение около солнца». Эта теория устраняла необходимость в особой вращательной силе, при помощи которой центральное светило увлекало за собой своих спутников и которую до тех пор искали в его вращении и магнитном притяжении, и вместе с тем открывала путь для теории всеобщего тяготения.

Главное собственно физическое сочинение Борелли было окончено одновременно с разработкой этой теории. Рассказывают, будто принц Леопольд желал поместить это сочинение в «Трудах» академии, но что

Борелли, вообще недоверчивый и неуживчивый, не дал отговорить себя от отдельного издания. Книга вышла только в 1670 г. под заглавием: «*De vi re percussio nis et motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*». Согласно заглавию, Борелли рассматривает здесь учение об ударе тел и приходит к лучшим результатам, чем его предшественники: Декарт, Оноре Фабри и др. К сожалению, его исследования относятся лишь к отдельным не связанным между собой случаям; по этой причине, а также вследствие неудобной формы изложения они не имеют большой ценности. С другой стороны, движение маятника выведено у Борелли вполне правильно из боковой начальной скорости, сообщенной толчком, тяжести и наперед заданного кругового пути. Он доказал, что движение ускоряется и замедляется только *одной тяжестью*, а так как действие ее в обоих случаях должно быть принято равным, то маятник должен настолько же подниматься на одной стороне, насколько он опускается на другой — закон, над которым Мерсенн, как нам известно, работал безуспешно. *Важнейшее значение книги Борелли заключается, впрочем, в тщательном исследовании явлений капиллярности и опытах для разъяснения ее сущности.* В первом томе нашей истории было отмечено, что открытие волосности некоторые неправильно приписывают арабу *Альгазену*¹; другие находят у *Леонардо да Винчи*² указание на это явление; некоторые, и также без достаточных оснований, приписывают знакомство с капиллярностью *Франциску Аджунти* (1600—1635). Член-корреспондент Флорентийской академии *Оноре Фабри* поместил в своей «*Physica in decem tractatus distributa*» (Лион, 1669) ряд верных положений; он нашел, что в *тонких трубках, погруженных в воду, последняя поднимается выше уровня воды, окружающей трубку с наружной стороны; что поднятие тем значительнее, чем уже просвет трубки, и что вода никогда не вытекает из верхнего конца трубки.* К этим правильным выводам Фабри прибавил неверное положение, что будто в *длинных трубках вода поднимается выше, чем в коротких.* Так как, однако, Борелли писал гораздо раньше Фабри, то первому следует отдать преимущество по времени открытия, не говоря уже о том, что его познания здесь гораздо шире и яснее. Фабри, например, считает еще воздушное давление причиной капиллярности, Борелли же доказывает, что *явление происходит и в пространстве с разреженным воздухом.* По его мнению, водяные частицы представляют тельца с расходящимися во все стороны гибкими ветвями. Ветви эти одним концом прилегают плотно к шероховатостям стеклянной стенки и действуют наподобие одноплечего рычага, имеющего точку опоры в стенке. Тяжесть водяных частиц внутри трубки таким образом частью уничтожается, и вода поднимается по ней кверху для восстановления равновесия с наружной массой воды. Объяснение было настолько хорошо, насколько могло быть в то время при отсутствии понятия о молекулярном притяжении; вскоре, однако, затруднения начали возрастать, и Борелли пришлось наблюдать больше, чем он был в состоянии объяснить. Он заметил, во-первых, что *жидкость остается*

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел первый.

² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

в трубке и после того, как ее вынимают из воды, и притом на прежнем уровне, и что высоты поднятия воды обратно пропорциональны диаметру трубок. До сих пор его теория рычагов могла еще держаться. Когда же он нашел, что две латунные пластинки, спущенные плашмя на воду, движутся друг к другу точно под влиянием притяжения и что то же самое повторяется с двумя деревянными тарелочками, между тем как деревянная тарелочка и латунная пластинка, опущенные вместе. Как будто отталкиваются¹, — ему пришлось убедиться в недостаточности прежнего объяснения. Подобно волосности, в то время и шаровую форму водяных капель объясняли воздушным давлением, на которое вообще возлагали много надежд; между тем флорентийские академики доказали, что капля в пустоте сохраняет ту же форму, а Борелли сверх того заметил слияние двух соприкасающихся капель. Последнее явление он тоже попытался отнести на счет принятой формы водяных частиц, но, разумеется, без действительного успеха.

Явления волосности занимали в ту пору многих физиков. *Монтанари* (1633—1687) опубликовал в своих «*Pensiere fisiche e matematiche*» (Болонья, 1667 г.) результаты сходные с бореллиевскими. *Исаак Фосс* (1618—1689) первый упоминает в своем сочинении «*De Nili et aliorum fluminum origine*» (Гаага, 1666) о понижении уровня ртути в тонких трубках и опровергает мнение, будто ключевая вода поднимается в силу волосности на вершины гор. *Бойль*, подобно флорентийцам, доказывал, что капиллярность наблюдается и в безвоздушном пространстве и потому не может зависеть от давления воздуха; дальнейших же исследовательских опытов он, по своему обыкновению, не делал. С большим успехом, чем в вопросе о капиллярности, применил Борелли теорию рычагов в своем знаменитом физиологическом сочинении «*De motu animalium*» (ч. 2, Рим, 1680 и Лейден, 1685). Он объясняет, что *руки и ноги человека и животных действуют, как одноплечие рычаги, у которых плечо сопротивления длиннее плеча силы*, и исчисляет силу, производимую мышцами руки при поднятии одним пальцем 9,5 фунта, в 1900 фунтов. Он *определяет устойчивость стояния по величине поверхности, служащей опорой; объясняет процесс бега как непрерывное падение; а отодвигание ног или наклонение туловища при вставании объясняет необходимостью перемещения центра тяжести над площадью опоры* и т. д. Сочинение Борелли имело классическое значение для теории движения животных и человека и долгое время ожидало достойного преемника.

По некоторым вопросам с Борелли соприкасается *РОБЕРТ ГУК*, который, подобно своему соотечественнику Бойлю, оказал влияние почти на все вопросы, занимавшие тогдашний мир физиков. *Гук* родился в 1635 г. на острове Уайте, где отец его был пастором; в 1658 г. он поступил в Оксфордский университет; затем сделался ассистентом Бойля, которому главным образом помог при устройстве воздушного насоса, и в 1662 г. он получил место экспериментатора при вновь учрежденном Королевском обществе. Вскоре он стал членом, а в 1678 г.

¹ Фишер («*Gesch. d. Phys.*» I, 317) сообщает, что Борелли показывал эти опыты великому герцогу Тосканскому и принцу Леопольду уже в 1655 г.

ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА. ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК 177

секретарем общества. Вместе с тем он читал лекции по механике, организованные по инициативе и за счет сэра Кетлера, и был профессором геометрии в Грешемской коллегии в Лондоне. Изнуренный работой и ночными бдениями, он умер в Лондоне в 1703 г.

Положение Гука при Королевском обществе привело его в соприкосновение со всеми новыми явлениями в науке, а экспериментальные способности позволяли не только повторять чужие исследования, но и вносить в них много нового и самостоятельного. С другой стороны, разбросанность занятий служила в большинстве случаев препятствием к дальнейшей разработке вопросов и всестороннему изложению своих мыслей. *Отсюда — бесконечные притязания Гука на то, что он первый все знал, первый собирался все сделать; он заводил постоянные ссоры и пререкания с другими учеными и изобретателями насчет прав первенства в открытиях и работах, и во многих случаях не мог убедить мир в своей правоте.* Мало того, его прямо обвиняли в нечестности. Вольф («Gesch. der Astr.», стр. 461) называет его научным разбойником и считает себя вправе «по меньшей мере подозревать его в утайке в свою пользу многих научных сообщений, которые должны были пройти через его руки, как секретаря Королевского общества». *С другой стороны, следует отдать должное смелости его мысли в некоторых случаях, а во всех без исключения — точности его наблюдений.*

Гук разошелся с Ньютоном в двух вопросах, имевших особенно важное значение для физики, именно *в учении о всеобщем тяготении и в учении о свете.* Первые *оптические исследования* Гука были помещены в его знаменитом сочинении «*Micrographia or philosophical description of minute bodies*» (Лондон, 1665); позднейшие напечатаны в Мемуарах Королевского общества и в посмертном собрании его сочинений «*Posthumous works*» (Лондон, 1705). Уже в своей микрографии Гук принял для света *волновую теорию*, высказав предположение, что свет состоит из быстрого и короткого колебательного движения и распространяется в однородной среде таким образом, что каждое колебание светящегося тела производит в этой среде сферическую поверхность, которая постоянно нарастает и увеличивается совершенно таким же образом (хотя и несравнимо быстрее), как кольцеобразные волны на поверхности воды, описывающие все большие и большие круги около центральной точки. В монографии, представленной Королевскому обществу в 1672 г., Гук высказал даже мысль, что *направление колебаний должно быть перпендикулярно к линии распространения волн* — мысль, к сожалению, совершенно забытую впоследствии. Он занимался далее (подобно Бойлю) *исследованием цветов мыльных пузырей* и заметил, что они *изменяются по мере утончения перепонки*; он наблюдал также *цвета тонких слюдяных пластинок* и при рассматривании их в микроскоп установил зависимость появления цветов от толщины пластинок. На основании своей теории света он объяснял игру цветов тем, что *как от передней, так и от задней поверхности водяных пластинок отражаются два следующих друг за другом луча, которые при встрече на сетчатке оболочки глаза производят ощущение различных цветов.* К сожалению, его представления об этом явлении не были достаточно ясны, чтобы привести

178 ТЯГОТЕНИЕ. СТЕКЛЯННЫЕ СЛЕЗЫ

к правильной теории интерференции. Именно, он утверждал, что различие цветов обуславливается различным способом столкновения отдельных колебаний на сетчатке; а так как он допускает только два способа такого столкновения, то и принял два основных цвета, красный и голубой, из смешения которых, по его мнению, и происходят все прочие цвета. При красном цвете сильное сотрясение следует за слабым; при голубом, — наоборот. Вскоре, однако, *теория двух основных цветов* оказалась недостаточной: наполнив два призматических стеклянных сосуда, один голубым медным раствором, а другой красной алойной настойкой, Гук убедился, что при просмотре через оба сосуда растворы вовсе не пропускают света. Гук наблюдал также *дифракцию света*¹ и (не упоминая имени Гримальди) пробовал объяснить ее, но тоже без успеха. Он не был в состоянии дальше развить и свою гипотезу световых колебаний, имевшую совершенно правильное основание, вследствие чего она не могла устоять против вполне законченной теории Ньютона, опубликованной впервые в 1672 г.; она лишь вовлекла его в пререкания весьма ожесточенного свойства (как и следовало ожидать при характере Гука), принесшие мало пользы науке.

Озлобление в данном споре не дошло, однако, до той степени, какую оно приобрело при открытии *закона всеобщего тяготения*, когда Гук стал открыто обвинять Ньютона в присвоении принадлежавшей ему (т. е. Гуку) мысли. Гук изложил свои идеи о планетных движениях в трактате *«An attempt to prove the motion of the Earth»* (Лондон, 1674). Здесь он обещал дать объяснение системы вселенной, какого еще не давал никто, хотя оно вполне согласно с законами механики. Объяснение основывается на трех законах: 1) Все тела обладают тяжестью не только по отношению к собственному центру, но и относительно друг друга в пределах круга их действия. 2) Все тела, имеющие простое прямолинейное движение, продолжают двигаться по прямой линии, если только какая-нибудь сила их постоянно не отклоняет от этого направления, заставляя описывать круг, эллипс или другую сложную кривую. 3) Притяжение тем сильнее, чем ближе находится притягиваемое тело. Гук прибавляет, что не успел еще исследовать подробнее закона, по которому это притяжение возрастает; позднее же он утверждал, что нашел этот закон раньше Ньютона. Мы вернемся к спору обоих ученых, когда будем говорить о Ньюtone.

Разбирать подробно все отдельные работы Гука значило бы коснуться почти всех отделов физики и астрономии. Остановимся только на наиболее выдающихся. В «Микрографии» он, между прочим, занимается *стеклянными слезами*, обратившими на себя в то время внимание ученых. По мнению Шуленбурга из Бремена, их наблюдали еще в 1625 г. на мекленбургских стеклянных заводах. Гук, подобно И. Фоссу, объяснял их разрыв давлением заключенного в них воздуха, — в то время воздушное давление должно было участвовать во всех явлениях. Действительная причина — *неравенство напряжения в самих стеклянных слезах вследствие внезапного охлаждения расплавленного стекла* — была открыта Гоббсом и Монтанари (1670). Гук описывает, далее,

¹ Он называет это явление уклонением света.

БАРОМЕТР. ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА, КАК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР 179

в «Микрографии» особый вид барометра, *колесный барометр*; последний не имеет, впрочем, другого значения, кроме косвенного свидетельства, что в то время был уже известен *сифонный барометр*. Имя изобретателя последнего не дошло до нас. В то время вообще много занимались устройством разных видов барометров, казавшихся пригодными для той или другой цели. В числе изобретателей этих приборов можно назвать Декарта, Гюйгенса, Морленда, Амонтонна и других известных физиков. Большинство старалось приспособить прибор для более удобного отсчета, большею частью достигая этого в ущерб точности. Об удобствах переноски тогда еще не думали, так как барометр почти не употреблялся для определения высот. Вскоре, однако, Мариотт начал искать удовлетворительной *формулы для вычисления высот по различиям барометрического уровня*, и Гук указал здесь верный путь (правда, не имея в виду данной конкретно задачи), разделив атмосферу для удобства вычисления ее высоты на слои и пытаясь найти закон разрежения воздуха по мере удаления от земли. Интересно, что на основании своих опытов он уже в то время оспаривал полную точность бойлевского закона обратной пропорциональности давления и объема газов.

Много труда употребил, далее, Гук на *усовершенствование зрительных труб* и на *их применение для измерения углов*. При открытии зрительной трубы не имели понятия о ее значении в качестве измерительного прибора, и долгое время употребляли ее только для увеличения отдаленных предметов. Только В. Гасконь (1621—1644), как положительно известно, измерял в 1640 г. поперечник Юпитера при помощи двух приделанных к зрительной трубе параллельных пластинок, которые можно было сближать и раздвигать посредством винта. Окончательно применение зрительной трубы для измерительных целей было введено Озу (Auzout «*Traite du micrometre*», Париж, 1667) и Пикаром, которые применяли нитяные кресты из металлической нити. Гук тоже рекомендовал употреблять зрительную трубу в качестве зрительного прибора, советуя брать для *микрометра* волосы вместо шелковых и металлических нитей ¹. А так как знаменитый данцигский астроном Гевель продолжал довольствоваться при своих наблюдениях диоптрическими линейками, то Гук в не совсем вежливых выражениях выразил в одной из своих статей сомнение в точности его наблюдений, но совершенно неосновательно, как это было ему вскоре доказано.

В этой работе («*Animadversions to the first part of the Machina coelestis of. Jon. Hevelius*», Лондон, 1674) Гук в первый раз описал *прибор для кругового деления*. По его мнению, достаточно нарезать на краях квадранта зубцы посредством бесконечного винта и определить их расстояния; однако этот способ вскоре оказался непрактичным. Поггендорф ² приписывает, далее, Гуку открытие ватерпаса в 1666 г.; Вольф ³, однако, доказывает, что это открытие принадлежит Мельхиседеку Тевно, который в 1661 г. сообщил о нем в письме к Вивиани и, по-

¹ Кресты из паутинных нитей получили общее распространение только в начале XIX столетия. В 1755 г. их рекомендовал Ф. Фонтана из Флоренции.

² «Gesch., d. Physik», стр. 565.

³ «Gesch. d. Astronomie», стр. 572.

180 ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП. ЧАСОВАЯ ПРУЖИНА

добно Гуку, считал спирт наиболее подходящей жидкостью для наполнения прибора.

Наконец, Гук принимал участие в первом устройстве *зеркальных телескопов*, если не в изобретении их. *Джемсу Грегори*, действительному изобретателю зеркального телескопа, пришлось разделить судьбу Цукки и Мерсенна, у которых тоже была идея подобного инструмента, но которые не могли ее осуществить. Именно Грегори в своей «*Optica promota*» (Лондон, 1603) предложил устройство зеркального телескопа (в том виде, как прибор этот изображается и описывается в учебниках физики под его именем) ввиду того, что обыкновенные трубы с чечевицами слишком длинны и вследствие обилия линз, пропускают мало света. Так как, однако, он сам не мог устроить подобного инструмента, а другие тоже не справились с задачей, то Грегори и отказался от осуществления своего плана. Только спустя 11 лет Гук устроил зеркальный телескоп в точности по плану Грегори, при этом, однако, оказалось, что Ньютон опередил его, построив еще в 1668 г. зеркальный телескоп, носящий его имя¹.

Гука, если верить его словам, упорно преследовал рок: другие постоянно успевали воспользоваться его мыслями и публиковали их раньше его самого. Так, он разошелся с Озу по поводу устройства зрительных труб и обвинил Гюйгенса в похищении у него плана воздушной зрительной трубы, т. е. комбинации чечевиц, укрепленных на длинном шесте без трубки. Гюйгенс, впрочем, провинился перед ним еще больше в связи с *изобретением часовой пружины*. Гук прямо обвинил его в плагиате, а секретаря Королевского общества Ольденбурга — в пособничестве. По уверению Гука, он уже с 1658 г. возымел мысль применить стальную пружину в виде регулятора для карманных часов и позднее вел переговоры с Бойлем, Р. Мореем и лордом Броункером о получении общего патента. Тем не менее, карманные часы со спиральной пружиной по мысли Гука появились не раньше 1675 г., после того, как Гюйгенс, надо полагать, без присвоения чужих идей, получил в 1674 г. свои пружинные часы, заказанные им парижскому часовому мастеру Тюре.

В 1668 г. Королевское общество предложило своим членам заняться разработкой *УЧЕНИЯ ОБ УДАРЕ ТЕЛ* и сообщить полученные ими результаты. В ответ на это предложение были представлены три работы, а именно: 26 ноября 1668 г. поступил трактат *Джона Валлиса* (1616—1703 гг., профессор математики при Оксфордском университете); 17 декабря монография *Христофора Врена* (1632—1723, профессор математики, директор королевских сооружений в Англии) и, наконец, 4 января 1669 г. исследование *Христиана Гюйгенса*, приславшего дополнение к своему мемуару в феврале того же года. Все три работы были напечатаны в «*Philosophical Transactions*».

Валлис разбирает здесь только *удар неупругих тел*, но в другом сочинении «*Mechanics sive de motu*» (Лондон, 1670—1671) переносит исследование и на *удар упругих тел*. К выводу законов удара он при-

¹ Небольшой рефлектор Ньютона хранится до сих пор в Королевском обществе. (Gerland, Leopoldina, Hetf XVIII).

УДАР. РАБОТЫ ВАЛЛИССА, ВРЕНА И ГЮЙГЕНСА 181

ходит кратчайшим путем, принимая, что *данное общее количество движения (произведение из массы на скорость) распределяется при ударе равномерно на массы обоих тел*, причем, однако, количества движения должны носить знаки своих скоростей, так что одинаковые количества движения с противоположным направлением скоростей взаимно уничтожаются. Таким образом Валлис исправил результаты Декарта. Последний не сумел учесть, что количества движения способны при ударе уничтожаться, вследствие чего он стоял на точке зрения постоянства количеств движения в абсолютном смысле и пришел к совершенно ошибочным законам. Валлис тоже не в состоянии объяснить уничтожения противоположных количеств движения; о (превращении движений масс при ударе в молекулярные движения он тоже не имеет еще понятия; но, с другой стороны, он считает фактически достоверным, что равные неупругие тела при равных, но противоположных скоростях приходят при ударе в состояние покоя, и таким образом дает верный закон для удара неупругих тел. *Картезианский закон постоянства количеств движения сохраняет свою силу и у Валлиса, но только этим количествам должны быть приписаны знаки направления.* Из законов удара неупругих тел Валлис впоследствии легко выводит законы удара для упругих тел. При столкновении двух упругих тел они сжимаются наподобие тел неупругих и, как последние, прежде всего уравнивают свои количества движения. Этим, однако, процесс для упругих тел не заканчивается; напротив, возвращаясь к первоначальной своей форме, они вновь действуют друг на друга; а так как действие равно противодействию, то в конечном счете первое действие удваивается. Другими словами, *у упругих тел выигрыш и проигрыш скорости вдвое больше, чем у неупругих.* Врен только формулировал законы удара упругих тел в одном кратком положении. Гюйгенс первоначально тоже представил в Королевское общество только законы удара упругих тел без доказательств, позднее же прислал и последние в мемуаре «*Du motu corporum ex percussione*», напечатанном в 1703 г. в «*Opuscula posthuma*». Здесь он предложил замечательно остроумный метод выведения законов удара из одного основного положения, без принятия в расчет молекулярных процессов. Это основное положение гласит: *два равных упругих тела, ударяющихся друг о друга с противоположными и равными скоростями, отскакивают одно от другого с теми же скоростями.* Чтобы вывести отсюда, например, тот закон, что при ударе упругого тела о другое такое же, покоящееся, первое остановится, а второе начнет двигаться со скоростью первого, Гюйгенс представляет явление в таком виде. Пусть на корабле столкнутся два равных тела *A* и *B* с одинаковыми скоростями, и пусть корабль имеет скорость, равную по величине и направлению с *A*. Пусть при этих условиях человек, стоящий на берегу озера или реки, по которым плывет корабль, наблюдает абсолютные движения тел *A* и *B*. На корабле *A* и *B* сталкиваются между собой с одинаковыми скоростями; наблюдатель же с берега видит тело *B* неподвижным, тело же *A* — движущимся с удвоенной скоростью. После удара оба тела на корабле, согласно нашему основному положению обмениваются скоростями: наблюдатель поэтому видит теперь тело *A*

182 УДАРНАЯ МАШИНА. ЖИЗНЬ ГЮЙГЕНСА

находящимся в покое, тело же *B* движущимся с удвоенной скоростью, что и требовалось доказать. В дополнительном мемуаре, присланном в Королевское общество, Гюйгенс прибавил к частным законам удара два общих положения: 1) *количество движения постоянно только в том случае, когда в расчет принимается алгебраическая сумма количеств движения и 2) при ударе упругих тел сумма произведений масс на квадраты соответствующих скоростей остается равной до удара и после него*. Законы эти сыграли в то время большую роль при многолетнем споре о живых и мёртвых силах.

Законы удара, вопреки преобладавшему в то время увлечению чисто экспериментальным методом, были найдены или по крайней мере изложены *почти исключительно дедуктивным способом*. Валлис и Гюйгенс вывели из нескольких опытных положений все прочие без дальнейшего обращения к наблюдению, и один только Врен привел опытные доказательства своих законов ¹, Более обширные опыты для наглядного доказательства законов удара были предприняты при помощи ударной машины *Мариоттом*; они описаны в его «*Traite de la percussion*» (Париж, 1677). Ударная машина состояла в основных чертах из двух шаров, подвешенных на нитях таким образом, что они едва соприкасались; высота, с которой заставляли падать шары, отсчитывалась по масштабу, и отсюда вычислялась скорость при ударе.

ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС родился 14 апреля 1629 г. в Гааге и был вторым сыном Константина Гюйгенса, богатого землевладельца и секретаря принца Оранского. Отец его, весьма образованный человек, сам преподавал сыну первые основания математики и механики. Шестнадцати лет Христиан Гюйгенс поступил в Лейденский университет и здесь, как и в Бреде, изучал право. Впрочем, математика не осталась у него в пренебрежении, потому что уже в 1651 г. появилось первое его произведение «*Theoremata de quadratura hyperboles, ellipsis et circuli ets.*». За этим первым сочинением последовало в 1654 г. второе, «*De circuli magnitudine inventa nova*», а вслед за ним ряд других значительных математических трактатов, в том числе в первую очередь изложение *теории вероятности* (1657). Наряду со столь плодотворными математическими занятиями, Гюйгенс работал и над усовершенствованием *зрительных труб*. Ему вскоре удалось устроить столь хороший прибор, что при его помощи он открыл *спутника у Сатурна*, а в скором времени он сконструировал еще большую зрительную трубу, с помощью которой он мог убедиться, что замечательные явления, которые наблюдали на Сатурне Галилей и другие, происходят от *кольца, свободно вращающегося вокруг этой планеты*. В то же время Гюйгенс начал свои опыты по устройству часов с *маятником* и уже в 1657 г., как мы увидим впоследствии, достиг своей цели. В начале шестидесятых го-

¹ Врен принимал близкое участие во многих физических исследованиях; к сожалению, должностные занятия служили препятствием для систематического развития его научных работ. К числу последних относятся: исследование сопротивления, встречаемого движущимся телом в жидкостях, исследования о наилучшей конструкции кораблей; о действии весел и парусов; о движении маятника; о причинах движения небесных тел; о шлифовке гиперболических стекол и т. д.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЮЙГЕНСА (1657 — 1673) 183

дов он предпринял путешествие в Париж и в Лондон. В 1603 г. он был избран членом Королевского общества, а в 1666 г. — членом вновь основанной парижской Академии наук. Вместе с последним званием он получил значительное ежегодное содержание и квартиру в здании Королевской библиотеки в Париже. В 1681 г. он, однако, отказался от этого места и вернулся в свой родной город Гаагу, как одни полагают, по причине расстроенного здоровья, а как утверждают другие (и пожалуй с большим основанием), вследствие отмены Нантского эдикта ¹. В Гааге Гюйгенс снова занялся изготовлением сильно увеличивающих зрительных труб, а также устройством *планетария*, сочинением о *строении вселенной*, но главным образом *теорией света* и оптическими исследованиями. Он умер в Гааге 8 июня 1695 г. Сочинения его были собраны и изданы с'Гравезандом в 4 частях: первые две под заглавием «*Opera varia*», 1724 г., и остальные две — «*Opera posthuma*», 1728 г. ². Подобно многим великим физикам того времени, Гюйгенс не был женат, посвятив свой гений, труд и состояние исключительно науке.

В настоящем отделе мы разберем лишь чисто механические открытия Гюйгенса, падающие преимущественно на промежуток времени с 1657 по 1673 г. и находящиеся в более или менее тесной связи с его открытиями относительно новой конструкции часов. Нам известно (см. ч. 1) что уже в XVI столетии изготовляли часы с *гирями* и вскоре затем стали употреблять *задержки* против ускоренного падения груза. Однако эти задержки не обеспечивали равномерного хода часов; поэтому для более точных, например, астрономических, определений времени долго еще употребляли водяные или ртутные часы, а колесные считали пригодными лишь для башен. Правда, в 1484 г. *Вальтер* уже имел на своей обсерватории колесные часы, допускавшие отсчитывание четвертей секунды; для Кассельской обсерватории *Иост Бюрги* тоже изготовил знаменитые колесные часы; наконец, *Тихо де-Браге* пользовался колоссальным инструментом того же типа; *но все эти измерители времени требовали ежедневной проверочной установки и часто расстраивались.* Поэтому открытие Галилеем маятника было встречено всеобщей радостью, и новым измерителем времени стали пользоваться как при физических, так и при астрономических работах; его употребляли сам Галилей, Риччиоли, Гримальди, Мерсенн, Кирхер, Гевель и др. Однако в маятнике было то неудобство, что он не отмечал самостоятельно истекшего времени и сверх того требовал повторных толчков, чтобы не остановиться. *Это обстоятельство навело уже Галилея на мысль соединить маятник со счетчиком, который показывал бы число совершившихся качаний, и эту мысль он подробно развил в письме от 5 июня 1636 г. к Лаврентию Реалию (Reaal), бывшему губернатору Голландской Индии.* Галилей вел тогда переговоры с Голландскими

¹ Нантский эдикт был, правда, формально отменен только в 1685 г., уже за несколько лет до этого религиозные преследования начали заметно усиливаться. Ремер и Папен покинули Париж одновременно с Гюйгенсом.

² В настоящее время имеется прекрасное полное собрание сочинений Гюйгенса, изданное Голландским научным обществом. (*Прим. ред.*).

184 ЧАСЫ С МАЯТНИКОМ ГАЛИЛЕЯ И ГЮЙГЕНСА

генеральными штатами о *точном способе определения долготы места по наблюдениям спутников Юпитера*, а Реаль был членом комиссии, которой правительство поручило рассмотрение проектов Галилея. Однако по различным причинам переговоры эти были прерваны и с тех пор о времяизмерителях Галилея ничего не было слышно.

Лишь двадцать лет спустя после упомянутого письма, тем же вопросом занялся Гюйгенс, но он подошел к проблеме уже с другой стороны. *Вместо того, чтобы придумывать для маятника новый счетчик, он принял старую конструкцию часов и связал ее с маятником*. Именно, Гюйгенс изменил форму задержки, связав это приспособление с маятником, чем обеспечил равномерный ход часов. На эти часы с маятником он получил от Генеральных штатов *патент* 16 июня 1657 г. и описал этот инструмент в маленькой брошюре «*Horologium*», 1658 г.

О его часах узнал в октябре 1658 г. принц Леопольд Тосканский и, вероятно, побудил Вивiani подать себе 20 августа 1659 г. письменный доклад о правах Галилея на изобретение. В докладе говорится, что *Галилей уже в 1641 г. собирался усовершенствовать свой счетчик, имея в виду приводить его в движение не маятником, а тяжестью, и затем соединить маятник со счетчиком таким образом, чтобы движение маятника постоянно поддерживалось счетчиком*. Далее указывается, что слепота помешала Галилею самому выполнить план, и он поручил это дело своему сыну Винченцо, который, однако, не мог приняться за работу ранее апреля 1649 г. Инструмент, по словам доклада, был бы, конечно, готов хоть настолько, чтобы судить об его действии, но внезапная болезнь и смерть Винченцо в том же 1649 г. не позволили закончить дело. Вивiani приводит рисунок часов, помещенный Альбери в прибавлении к новому флорентийскому изданию сочинений Галилея. С другой стороны, Нелли утверждает в биографии Галилея, что из оставшегося после смерти Винченцо имущества в 1668 г. были проданы «*un oriuolo non finito di ferro col pendulo, prima invenzione del Galileo*». Если, следовательно, не считать Вивiani прямо обманщиком, к чему нет никаких оснований, то нужно признать, что *первоначальный план устройства часов с маятником принадлежит Галилею*. Но, с другой стороны, ясно, что окружавшие Галилея не поняли важности этой мысли, иначе, конечно, Вивiani не дождался бы обнародования изобретений Гюйгенса, чтобы выступить со своим заявлением. *За Гюйгенсом во всяком случае остается слава независимого вторичного изобретения* (достоверно известно, что он не знал о последнем плане Галилея, не знал, вероятно, даже и об его счетчике) *и заслуга первого целесообразного и легко выполнимого устройства часов с маятником*, дававшего возможность легко переделывать всякие старые часы на новые.

Однако кроме Галилея у Гюйгенса был еще другой опасный конкурент, именно *Иост Бюрги*, которого Вольф считал в своей «Истории астрономии» вероятным изобретателем часов с маятником. По Вольфу *Бюрги изобрел такие часы еще в 80-х годах XVI столетия, следовательно, он должен был быть знаком с изохронностью колебаний маятника ранее Галилея*. Такое утверждение Вольф основывает на одном очень неопределенном заявлении Ротманна, на прямом свидетельстве фламандского математика Домса и на факте существования в Венском

ЧАСЫ БЮРГИ 185

музее часов с маятником, относимых ко времени Бюрги. По словам самого Вольфа эти свидетельства, взятые каждое в отдельности, маловажны, но в совокупности имеют большую доказательную силу. Герланд ¹ утверждает, однако, что последнего допустить нельзя. Иост Бюрги (1552—1632) был сначала часовщиком ландграфа Вильгельма IV Гессен-Кассельского (ум. 1592 г.); потом с 1603 до 1622 г.— часовщиком императора Рудольфа II, а затем вплоть до смерти жил опять в Касселе. Значит, его часы с маятником должны были бы находиться на обсерватории в Касселе; там действительно находятся трое часов его работы, в одних из них действительно есть маятник с передвижным грузом и отскакивающей якорной задержкой; но последнюю обыкновенно приписывают часовщику Клементу в 1680 г. Часы эти около 1676 г. были в переделке, и вероятно, в то время к ним был придан маятник. Вообще Герланд приходит к очень правдоподобному выводу, *что ни одни из известных часов Бюрги не имели вначале маятника, не исключая его больших планетных часов Кассельского музея*, хотя последние и были выполнены для того времени с величайшим совершенством. Приписывать Бюрги этого изобретения нельзя, потому что иначе ему пришлось бы приписать открытие изохронности качаний маятника и изобретение отскакивающей якорной задержки ².

Гюйгенс не переставал работать над усовершенствованием своих часов и по получении им патента. Говоря о Гуке, мы уже упомянули, что в 1674 г. по указанию Гюйгенса были устроены *первые карманные часы со спиральной пружинкой*. Здесь же мы прибавим, что он *тотчас же стал рекомендовать употребление их на море для определения географической долготы* ³. В наших глазах все эти заслуги, однако, ничто в сравнении с блестящими теоретическими исследованиями Гюйгенса, изложенными в его большом сочинении *«Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae»* (Париж, 1673). Галилеевский закон маятника вполне точен лишь для случая тяжелой точки, подвешенной на невесомой линии и совершающей бесконечно малые колебания, другими словами, закон верен лишь для бесконечно малых качаний простого маятника. Вскоре, однако, обратили внимание, что при качании тела точки его, в силу различного расстояния от точки привеса, должны иметь различные периоды колебаний; отсюда возникал вопрос, *каким образом общая скорость целого тела складывается из этих различных скоростей отдельных точек*. В 1646 г. Мерсенн предложил на разрешение математикам вопрос о продолжительности колебания плоской фигуры и обратился за решением специально к Декарту, Робервалю и Гюйгенсу ⁴. Декарт в том же году изложил в письме к Мерсенну правильный ход решения задачи,

¹ Wiedemann, «Ann. d. Ph. u. Ch.» Bd. IV, стр. 585-613.

² Первые часы Гюйгенса с маятником, изготовленные в Париже Тюре, сохраняются до сих пор в лейденском физическом кабинете; там же находится его зрительная труба. Чечевица, с помощью которой он открыл спутников Сатурна, сохраняется в Утрехте.

³ Extrait d'une lettre de M. Huygens a l'auteur du journal des savans touchant une nouvelle invention d'horloges tres justes et portatives («Journ. des savans», Fevr. 1675).

⁴ Montucla, II. стр 423.

сведя вопрос на *определение в качающемся теле точки, которая сама по себе качалась бы с той же скоростью, с какою качается фактически все тело*. Эту точку, называемую нами теперь *центром качания*, Декарт нашел лишь для таких случаев колебаний, когда ось вращения совпадает с плоскостью фигуры. Роберваль (1602—1675) оказался счастливее: помимо декартовского случая, решенного им для всяких плоских фигур вообще, он верно решил задачу для отдельных фигур в том случае качания, когда ось вращения перпендикулярна к плоскости фигуры. Для других же плоских фигур и в особенности для тел решение Роберваля оказалось неверным. По этому поводу между обоими учеными Декартом и Робервалем, вообще недолгоблюдавшими друг друга, завязался длинный спор, в котором в сущности оба были неправы, так как оба смешивали *центр качания с центром удара*.

Молодому Гюйгенсу решить задачу в то время совершенно не удалось, но зато он разрешил ее позднее в полном объеме в своем классическом сочинении. Исходя из основного положения, что *во всяком качающемся теле центр его тяжести никогда не может подняться на высоту большую той, с которой он начал падать*, Гюйгенс отсюда выводит, что при качании тела центр его тяжести постоянно будет подниматься на одну и ту же высоту. Из последнего же положения выводится следующее правило: *для определения расстояния центра качания от оси вращения следует взять сумму произведений масс малейших частиц тела на квадраты их расстояний от оси вращения; затем образовать сумму произведений масс тех же частиц на их расстояния от оси вращения и первую сумму разделить на вторую; или, выражаясь теперешним языком: длина простого маятника, имеющего равный период качания со сложным маятником, равна частному от деления момента инерции на статический момент качающегося тела*¹. Этим колебания любых тел были сведены к колебаниям простого маятника, потому что благодаря данному правилу отыскание центра качания всякого тела превращалось в чисто математическую задачу, притом же Гюйгенс уже тогда открыл, что продолжительность качаний остается неизменной, если точка подвеса и центр качания обменяются местами, благодаря чему центр качания можно определить и чисто экспериментальным путем.

Тем не менее даже простой маятник представлял еще много трудностей. Что качания его изохронны лишь для бесконечно малых размахов, знал, вероятно, уже Галилей; во всяком случае это было определенно известно до Гюйгенса. Гюйгенс же впервые определил зависимость продолжительности качания от угла размаха и дал *формулу для вычисления абсолютного числа колебаний простого маятника по его длине*. С целью упрощения исследования он поставил вопрос в несколько иной форме. Приняв во внимание, что колебание маятника тожде-

¹ Гюйгенсовский принцип поднятия центра тяжести не остался без возражений: аббат Кателан объявил его совершенно неправильным и пришел при помощи других принципов к иным результатам. Впрочем, этот противник был легко устранен; но зато последующие математики положили много труда на то, чтобы доказать этот принцип и свести его к более простым механическим положениям. К этому вопросу мы еще вернемся впоследствии.

ТАУТОХРОНА. ЧИСЛО КОЛЕБАНИЙ ПРОСТОГО МАЯТНИКА 187

ственно с движением тяжелого тела, скатывающегося по круговому пути под влиянием тяжести, он поставил вопрос: *по какому пути должна падать тяжёлая материальная точка, чтобы время ее падения от какой-либо точки пути до самой низкой точки последнего было независимо от высоты падения и, следовательно, всегда было одно и то же.* Единственной кривой линией, удовлетворяющей этому условию, оказалась *циклоида*, обращенная вершиной вниз. Далее, Гюйгенс доказал; что для одного спуска и одного подъема (т. е. для одного качания) по такому пути требуется такая продолжительность времени, которая относится ко времени свободного падения по длине оси циклоиды, как окружность круга к своему диаметру. Таким путем была не только просто определена *таутохрона*, т. е. линия равной продолжительности падения, но также был найден способ определения абсолютного числа колебаний циклоидального, а равно и кругового маятника по его длине. Если через T обозначить продолжительность одного размаха циклоидального маятника и через h высоту циклоиды, то по правилу Гюйгенса выходит:

$$T : \sqrt{\frac{2h}{g}} = \pi : 1,$$

откуда

$$T = \pi \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Если, далее, построить круг, который соприкасался бы с циклоидой в самой низкой ее точке, то круг и циклоида совпали бы здесь на бесконечно малом протяжении и, следовательно, если бы в центре круга был подвешен маятник длиной в радиус круга, то бесконечно малые качания маятника были бы *изохронны* с качанием тела по циклоиде. Но радиус соприкасающегося круга, а также l , длина маятника, равны $2h$; следовательно, для бесконечно малых качаний, а приблизительно и для очень малых конечных качаний кругового маятника продолжительность одного качания выражается общеизвестной формулой:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Достигнув таких результатов, Гюйгенс постарался сделать маятник своих часов не только приблизительно, но и *вполне изохронным*; для этой цели он *заменял круговой маятник циклоидальным*. Открыв, что развертка циклоиды есть также циклоида, он подвесил свой маятник на нитке и поместил по обеим сторонам ее циклоидально изогнутые металлические полосы таким образом, чтобы при качании нить с обеих сторон прилегала к кривым поверхностям. Тогда маятник действительно описывал циклоиду; но это приспособление оказалось на практике неудобным из-за трудности придавать полосам точную циклоидальную кривизну, из-за негибкости нити, пыли, влажности и наконец вследствие сопротивления воздуха. Поэтому мысль Гюйгенса вскоре была оставлена, и уже Гук и Держэм стали употреблять маятники с тяжелыми чечевицами, делавшие очень маленькие круговые размахи.

188 УСКОРЕНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ. ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА

В своем «Horologium» Гюйгенс не ограничился разработкой вопроса в тесных рамках приложения его к часам — он исследовал вопрос о движении маятника всесторонне, и в выяснении дальнейших выводов из своих новых открытий гений Гюйгенса выступает в самом ярком свете. Мы видели, как Галилей при измерении путей, пробегаемых падающим телом, пользовался в значительной мере теорией маятника. Мерсенн и другие пробовали сравнить на опыте колебания маятника со скоростями падения, но получили несовпадающие числа. *Пользуясь своей формулой, Гюйгенс получил возможность определить, исходя из фактической продолжительности одного качания и по данной длине*

маятники, ускорение, производимое тяжестью ($g = \pi^2 l / T^2$), и нашел $g = 31$ футу, величина, которая вполне согласовалась с результатами, выведенными из опытов над падением тел. Для этих опытов он устроил секундный маятник и нашел его длину в $440\frac{1}{2}$ париж. линий. Полагая, что секундный маятник на всей земной поверхности должен иметь одну и ту же длину, он предложил *принять длину секундного маятника за неизменную норму линейных мер и третью часть этой длины считать нормальным футом* (также *pes horarius*, или часовой фут). Гюйгенс, впрочем, не первый выступил с предложением неизменного масштаба; Габриэль Мутон из Лиона предлагал *принять за нормальную линейную меру длину минуты градуса меридиана уже в 1670 г.* Но легко видеть, что идея Гюйгенса легче и лучше выполнима, чем мутоновская; можно лишь сожалеть, что новейшее время отдало предпочтение последней.

Наконец, Гюйгенс исследовал также *напряжение нити маятника под действием центробежной силы* и резюмировал свои результаты в «Horologium oscillatorium» в виде кратких положений. Доказательства последних помещены в подробном трактате «*De motu et vi centrifuga*», появившемся же после его смерти в «Opuscula posthuma» (1703). Центробежную силу он измеряет прежде всего для кругового движения расстояниями, на которое тело удалилось бы от центра, если бы оно стало свободно двигаться по касательной, а не по кругу. Показав, что *для круга расстояния точек на касательной от соответствующих точек на окружности прямо пропорциональны квадратам скоростей и обратно пропорциональны радиусам кругов*, он делает отсюда вывод, что *и силы, которые притягивают тела на означенные расстояния от касательных к центру, должны давать то же отношение.* Этот закон в его общеизвестной форме $f = v^2 / r$ легко применим к движению по любым кривым, если для всякой данной точки кривой в приведенной формуле под v понимать мгновенную скорость, а под r — радиус кривизны в данной точке. Центробежную силу Гюйгенс определил также для *конических маятников* и уже в своем «Horologium» (1673 г.) рекомендовал применять подобные маятники для часов, но предложение его осталось в то время почти незамеченным.

Хотя область физических исследований Гюйгенса была чрезвычайно обширна и требовала огромного напряжения сил, но она его далеко не поглощала — великий ум Гюйгенса при всем его углублении в подробности не терял способности обзирать и целое. Мы встретимся

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ГРАДУСА. ДЛИНА СЕКУНДНОГО МАЯТНИКА 189

еще с ним как с весьма выдающимся оптиком; здесь же заметим, что в первые свои путешествия во время пребывания в Париже он работал над всеми почти физическими проблемами, которые занимали ученых того времени. Так, он устроил *двойной барометр*, в котором колебания ртутного столба были значительно увеличены против обыкновенного. С Папеном он производил *опыты по определению температуры кипения*; он повторил *опыты горения в пустоте и расширения воды при замерзании*. Он принимал участие в *измерении скорости звука*, предпринятом членами Парижской академии Дом. Кассини, Пикаром и Ремером (они нашли ее равной 1172 париж. футов в секунду).

Изобретение часов с маятником вскоре принесло неожиданные плоды. Выше было отмечено, что, по мнению Гюйгенса (в его «*Horologium*»), *длина секундного маятника должна быть повсюду равна, а следовательно, и тяжесть на всей земной поверхности должна быть одинакова*. Но уже незадолго до появления его сочинения были сделаны наблюдения, противоречащие этому. *Жан Пикар* (1620—1682, ученик и преемник Гассенди по кафедре в Collège de France) предпринял по предложению Парижской академии, членом которой он состоял, новое градусное измерение ввиду большого расхождения между измерениями Риччиоли и Норвуда. В 1669 и 1670 гг. он измерил с помощью одного базиса и 35 треугольников впервые при посредстве точных угломерных инструментов расстояние, конечными пунктами которого были Сурдон (близ Амиена) и Мальвуазен. Результаты были опубликованы им в 1671 г. в сочинении «*Mesure de la terre*». Для 1° он нашел длину в 57 060 туазов — величину, оказавшуюся вследствие случайного взаимного исключения ошибок, очень точной. Пикар в своем сочинении обращает внимание на то, что теперь, когда точно измерено определенное протяжение на земле, пора подумать и об измерении расстояния до наиболее близких к земле светил. Ввиду того, что астрономическая рефракция у экватора является наименьшей, Парижская академия отправила в 1671 г. своего члена *Жана Рише* (ум. в 1696) в Кайенну для проведения необходимых наблюдений. В конце 1673 г. он вернулся из экспедиции и по началу удостоился больших похвал со стороны академиков за точность своих работ; но он привез с собой также одно наблюдение, показавшееся вскоре академикам и неудобным и неприятным. Рише взял с собою в экспедицию хорошие часы с маятником, но заметил, что в Кайенне они отставали ежедневно на 2 минуты, так что ему пришлось укоротить маятник на 1,25 линии. Сначала он думал, что тут была какая-нибудь ошибка с его стороны, но когда по возвращении в Париж ему снова пришлось удлинить маятник на 1,25 линии, он стал убежденно настаивать на *изменяемости длины секундного маятника с географической широтой*. Самый этот факт Рише объяснял *уменьшением тяжести под экватором вследствие вращения земли*, а также тем, что, может быть, *земля у полюсов сжата, поэтому тяжесть в направлении к полюсам увеличивается*. Но академия и слышать не хотела о сжатии земли; необходимость укорочения маятника под экватором она была склонна приписать, между прочим, удлинению стержня маятника под влиянием теплоты, ссылаясь на то, что ни Ремер в Лондоне, ни Пикар на острове Гвене в Каттегате не за-

190 ДЕШАЛЬ ПРОТИВ ДЕКАРТА

метили разницы в секундном маятнике. Вопрос этот долго еще оставался в таком неопределенном состоянии; но когда Ньютон, на основании теоретических соображений со своей стороны высказался за сжатие земли у полюсов, вопрос этот дал повод к большому научному спору между англичанами и французами. Бедный Рише между тем сильно пострадал из-за своего открытия; в глазах академиков оно обесценило все его прочие работы, и с той поры вплоть до своей смерти Рише почти не принимал участия в работах академии. Свое открытие Рише описал в сочинении *«Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Cayenne»*, Париж, 1679 г.

Из противников приобретавшего все большую славу Декарта мы упомянем Дешаля. **КЛОД ФРАНСУА МИЛЬЕ ДЕШАЛЬ** родился в 1621 г. в Шамбери, был профессором математики в Клермоне, Марселе, Лионе, и наконец в Турине, где и умер в 1678 г. Он принадлежал к тем ученым иезуитам, которые хотя и не очень обогатили науку, но по крайней мере содействовали ее распространению. Его издание Евклида было долгое время единственным учебником геометрии во Франции, а большое физико-математическое сочинение *«Cursus seu mundus mathematicus»* (Лион, 1674), трактовавшее о многих вопросах с большой ясностью, может во многом служить показателем состояния физики тогдашнего времени.

Дешаль восстает прежде всего против учения Декарта о природе твердых и жидких тел. Декарт, как мы знаем, утверждал, что твердыми являются те тела, у которых частицы находятся в непрерывном покое, а жидкими,— у которых частицы находятся в постоянном движении; сцепление же частиц твердых тел он объяснял сопротивлением инерции. Дешаль на это возражает: если бы предположение Декарта было справедливо, то отламывание от твердого тела куска требовало бы не больших усилий, чем приведение куска в движение; а мы знаем, что тело весом в один фунт легко привести в движение силой в один фунт, тогда как для отламывания часто такой силы бывает недостаточно. *Это возражение, однако, не совсем убедительно.* В самом деле, если принять вместе с Декартом, что всякое тело, погруженное в жидкость, получает удары от частиц последней и остается при этом в покое лишь благодаря тому, что удары со всех сторон взаимно уничтожают друг друга, то отсутствие всяких специфических причин сцепления (что особенно и подчеркивает Декарт) можно отстаивать еще следующим образом. Всякое твердое тело, находясь в воздухе, легко движется в нем, потому что оно со всех сторон получает от воздуха равные толчки; но когда от тела отламываются части, воздух давит на последние лишь с одной стороны и более или менее сильно препятствует их отделению. Другими словами, отделению частей препятствует не только сопротивление инерции, но еще и сопротивление воздуха. В этом пункте теория Декарта совпадает с прежним объяснением сцепления, считавшим его результатом давления воздуха. Другое возражение Дешаля против теории Декарта касается *невозможности объяснить при ее помощи растворение твердых тел в жидкостях.* Когда, говорит он, соляной раствор насыщен, жидкость не перестает быть жидкостью; и ей следовало бы по-прежнему приводить в движение но-

СЦЕПЛЕНИЕ ЧАСТИЦ. БЛУЖДАЮЩИЕ ОГНИ. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 191

вые частицы соли, т. е. растворять их, а между тем этого нет. *Сам Дешаль объясняет разницу между твердыми и жидкими телами более или менее мелким делением материи, указывая при этом и на большую или меньшую взаимную связь между частицами.* Раствор твердого тела в жидкости он считает как бы плаванием тонких частиц первого в последней; но что заставляет твердое тело распасться на части, и как могут плавать все еще более грубые частицы твердого тела среди более мелких частиц жидкости, он не объясняет. Вообще интересно отметить, что *после того, как сцепление уже объяснялось сплочением частей, давлением воздуха и косным сопротивлением, на сцену снова выступает представление об особой связи между частицами.* Так, Роберваль в своем сочинении «*Aristarchi Samii de mundi systemate liber singularis*» уже в 1644 г. высказал мысль, что *все части материи взаимно притягиваются* и что однородное вещество принимает форму шара, если только оно может свободно следовать притяжению. Впрочем, все эти мнения отличались неопределенностью, и даже сам Ньютон, ясно отличая тяготение как притяжение на расстоянии от сцепления как притяжения при соприкосновении, не входит в рассмотрение последнего.

Дешаль проделал более 1000 опытов для проверки законов падения Галилея; но, найдя отклонения, он верно объяснил их сопротивлением воздуха; при этом он высказал мысль, что сопротивление воздуха, по-видимому, пропорционально пройденному пути. В оптике ему принадлежит *открытие дифракционных цветов в отраженном свете*; он наблюдал их в темной комнате, заставляя падать солнечный луч на густо исчерченную царапинами металлическую или стеклянную пластинку и направляя отраженный свет на белую бумагу. Отсюда он и заключил, что цвета образуются не только при преломлении, но и при различной силе света. О *блуждающих огнях* он приводит три мнения: они производятся либо горящими телами, либо белыми телами, отражающими солнечный свет, либо, наконец, телами с особым блеском, как, например, гнилое дерево и светляк. Последнее он считает наиболее вероятным ¹. *Побочные солнца* он считает зеркальными отражениями солнца от облаков ²; круги же вокруг солнца и луны он пытается объяснить подобно радуге. *Облака*, по его мнению, состоят из мельчайших водяных капель; замерзая в верхних слоях атмосферы, они падают вниз, сливаются друг с другом и, растаяв в нижних слоях, образуют капли дождя. *Землетрясения* могут действительно частью происходить от воспламеняющихся паров, частью же они объясняются тем, что вода проникает до подземного огня и, превратившись в пар, со страшной силой ищет выхода наружу.

Последнее объяснение чрезвычайно интересно, во-первых, в виду его близости к нынешним воззрениям на этот вопрос, и во-вторых, как свидетельство того, что еще задолго до изобретения паровой ма-

¹ Роберт Флюдд (1574-1637) рассказывает, что погнавшись за блуждающим огнем, он ударом руки сбросил его на землю и нашел слизистую массу. К сожалению, это свидетель, совершенно не заслуживающий доверия.

² В пользу воздушных отражений приводится рассказ, будто в Везуле видели вооруженного солдата парящим в облаках, что привело весь город в ужас. В конце концов, однако, заметили, что это был воздушный образ статуи св. Михаила, стоявшей перед тамошней церковью.

192 ЖИЗНЬ НЬЮТОНА

шины огромная сила напряжения водяных паров была уже известна; значит, для изобретателей машины не было нужды в каких-нибудь особенных случаях, чтобы обратить внимание на эту силу.

ИСААК НЬЮТОН родился 5 января (н. ст.) 1643 г. в Вульсторпе, деревне графства Линкольн, поблизости от маленького города Грантама. Отец его умер спустя несколько месяцев после женитьбы. Исаак Ньютон родился не вполне доношенным, очень слабым младенцем. Мать его через три года снова вышла замуж, а ребенка отдала на воспитание бабушке, у которой, однако, для его умственного развития почти ничего не было сделано. Лишь на 12-м году он стал посещать городскую школу в Грантаме, где вначале считался малоспособным и даже малоприлежным учеником. Вскоре, однако, с пробуждением в нем честолюбия он стал одним из лучших учеников. Уже в то время Ньютон охотно занимался механическими работами, строил солнечные часы, ветряные мельницы и изготовлял для предмета своей юношеской любви, мисс Горей, дочери одного врача, маленькие шкафчики, столы и ящички. 16-ти лет он вернулся к матери, овдовевшей во второй раз, в Вульсторп, чтобы заняться сельским хозяйством в небольшом принадлежавшем ей поместье. Но этого рода занятия были ему не по душе, и когда Ньютону случалось приезжать в Грантам, он проводил больше времени за просмотром книг у аптекаря Кларка, чем за делами по продаже хлеба. Тогда-то мать решилась по совету и при содействии своего брата пастора Эскоф отпустить сына учиться. На 18-м году (1660 г.) Ньютон поступил, крайне плохо подготовленный, в одну из коллегий (Trinitu College) Кембриджского университета, где ранее учился и его дядя. По счастью, молодой студент обладал такими способностями, которые сделали для него школьную подготовку ненужной. Элементарные сочинения по математике сразу показались молодому гению слишком легкими, так что он почти начал свое обучение с «Геометрии» Декарта, «Arithmetica infinitorum» Валлиса и сочинений Кеплера. Несмотря на такой для более слабых студентов ненормальный способ занятий, он уже в 1665 г. получил степень бакалавра, а в 1667 г. стал магистром и старшим коллегиятом. В 1669 г. Барроу, профессор Кембриджского университета с 1663 г., поручил Ньютону издание своих геометрических и оптических лекций и в том же году отказался от кафедры математики в пользу Ньютона, чтобы самому всецело отдаться геологии.

Таким образом изучение Декарта и Кеплера, равно как лекции Барроу, привели Ньютона уже в начале его ученой карьеры в область оптики. Приняв профессуру по математике, он читал лекции по оптике до 1671 г., и уже к этому времени относится одно из его величайших •оптических открытий — различная преломляемость цветов. Королевское общество, узнав об упомянутом нами выше телескопе Ньютона, предложило ему представить этот инструмент, и Ньютон послал его секретарю общества Ольденбургу в декабре 1671 г. Вслед за этим 11 января 1672 г. Ньютон был избран членом общества. Новый член тотчас же показал, что был достоин оказанной ему чести. 18 января он пишет Ольденбургу: «Прошу Вас уведомить меня в следующем письме, долго ли еще будут продолжаться еженедельные собрания об-

РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ 193

щества. Если они еще продлятся некоторое время, я намерен представить на рассмотрение общества доклад об одном физическом открытии, которое навело меня на устройство телескопа. Я не сомневаюсь, что это открытие понравится обществу больше самого телескопа, потому что, по моему мнению, оно важнее всего, что было до сих пор сделано по вопросу о природе света».

6 февраля доклад был послан. В нем заключалось *ньютоновское открытие дисперсии света и объяснение цветов; в сопроводительном письме ни имя Ольденбурга он изложил весь ход этих открытий с 1666 г.* Общество поручило рассмотреть работу Ньютона комиссии в составе Сета Уарда (оксфордского профессора астрономии), Бойля и Гука; комиссия отозвалась о работе очень одобрительно, и трактат был напечатан в «Transactions». Однако согласие между Ньютоном и Гуком продолжалось недолго. Как мы уже видели, последний изучал цвета тонких пластинок и представил обществу доклад по этому вопросу в 1672 г. Ньютон, занявшись тем же вопросом позднее, подверг его более углубленной разработке и пришел к теории, изложенной в 1675 г. в трактате «*Discourse on light and colours*», который был представлен Королевскому обществу. Так как теория Ньютона расходится с теорией Гука, то между обоими учеными завязался весьма ожесточенный спор, в результате которого Ньютон принял решение не печатать ничего по вопросу о свете, пока жив Гук. Правда, Гук опубликовал в 1675 г. трактат о *дифракции*, а Ньютон в 1676 г. — о *естественной окраске тел*, но затем последний действительно замолчал вплоть до смерти Гука в 1702 г. Лишь два года спустя (1704) Ньютон собрал по настоянию друзей свои работы по оптике и опубликовал их под заглавием: «*Optics, or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light*». Позднее в 1728 г., уже после его смерти, вышли его «*Lectiones opticae*», излагавшие оптику в более строгой форме. Оба сочинения, получившие почти каноническое значение, пережили много изданий; например, оптика на латинском языке была издана в 1719, 1721 и 1728 гг. в Лондоне; в 1740 г. — в Лозанне; в 1773 г. — в Падуге; по-английски в 1714, 1721 и 1730 гг. в Лондоне; по-французски — в 1720, 1726 и 1787 гг.¹ После того как Ньютон принял кафедру математики, во внешних условиях его жизни долгое время не происходило никаких перемен, хотя слава его оптических открытий разнеслась по всему свету. Ниже, когда будет речь о механических работах Ньютона, мы еще вернемся к его жизнеописанию.

Экспериментальная сторона ньютоновских открытий по оптике была, по-видимому, уже вполне закончена в 1676 г.; да и теория была уже к этому времени в большей своей части разработана. Впоследствии он был настолько поглощен сначала механико-астрономическими исследованиями, а затем и другими занятиями по своей профессии, что в этой области он дал, по-видимому, очень мало, кроме некоторого углубления вопроса о причинах оптических явлений, о природе света и о связи с его же теорией притяжения.

¹ Имеется русское издание «Оптики». Москва, Гиз, 1927. (Прим. ред.).

194 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА В ПРИЗМАХ. РАССЕЯНИЕ СВЕТА

Оптика Ньютона распадается на *три* книги: в *первой* излагаются вопросы об отражении, преломлении и дисперсии света; во *второй* — о цветах тонких пластинок, естественной окраске тел, а также о цветах толстых слоев; в *третьей* излагается дифракция света, а также ряд вопросов, неоконченные опыты и неразрешенные проблемы.

По словам самого Ньютона, он в 1666 г. начал исследование *преломления света в стеклянных призмах*. Маловероятно, чтобы ему в то время были известны замечания Гримальди о рассеянии света, так как, во-первых, Ньютон ничего не упоминает об этом, и во-вторых, возможно, что в то время он еще недалеко ушел от своих учителей Кеплера и Декарта. С целью более удобного наблюдения *призматических цветов* он постепенно пришел к установке, которая неожиданно оказалась очень полезной для объяснения явления. В ставне затемненной комнаты он прорезал круглое отверстие диаметром в $\frac{1}{4}$ дюйма, вплотную позади отверстия поместил призму с (преломляющим углом в $63^{\circ}12'$, а на расстоянии 22 футов от ставни поставил экран для получения солнечного изображения. При этом на экране получился цветной спектр в $2\frac{5}{8}$ дюйма ширины и $13\frac{1}{4}$ дюйма длины, с прямолинейными сторонами и закругленными углами. Ширина спектра соответствовала видимому диаметру солнечного диска в $31'$, *длина же была внятеро больше той, которая должна была бы получиться без дисперсии света*. Затем Ньютон постарался определить, является ли дисперсия света случайным явлением или же оно *необходимо связано с преломлением света в призме*. После того, как в результате многочисленных опытов последнее подтвердилось и вместе с тем было доказано, что после преломления лучи снова распространяются прямолинейно, Ньютон пришел к убеждению, *что белый солнечный свет состоит из цветных лучей, что в каждом солнечном луче содержится большое количество цветных лучей, что каждый различно окрашенный луч отклоняется при преломлении на различную величину, и что, следовательно, благодаря преломлению многоцветный свет обычно собранный в белый, разлагается и отбрасывается на различные места экрана*. Но если это так, то различно окрашенные лучи должны иметь даже в одних и тех же средах различные показатели преломления; *красные, судя по их положению в спектре, должны всегда преломляться слабее всех прочих, а фиолетовые, наоборот, сильнее*. Эти выводы Ньютон постарался подтвердить экспериментально, и опыт, приведший его к цели, который он вместе с тем считал вообще решающим для теории дисперсии, он назвал *experimentum crucis*¹. Позади призмы был помещен экран с очень маленьким отверстием, в 12 футах позади нее — другой экран, опять-таки с маленьким отверстием, затем вторая

¹ До сих пор у нас не было еще случая констатировать прямое влияние Бэкона на физику. Оно чувствовалось разве у одного Еойля, поскольку последний боялся гипотез. Но со следами этого влияния мы вскоре встретимся у Ньютона; оно выражается, между прочим, и в своеобразном термине *experimentum crucis*, напоминающем одно выражение Бэкона. Говоря в своем «Organon» о «важнейших случаях» при исследовании естественных явлений, Бэкон замечает: «к важнейшим случаям я причисляю крестные случаи, заимствуя это слово от крестов, встречающихся на распутьях. Эти же случаи я называю решающими (испытательными), иногда пророческими».

ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВ 195

призма и, наконец, воспринимающий экран. Поворачивая первую призму около преломляющего ребра, Ньютон мог пропустить через отверстие первого экрана любой из спектральных цветов; отверстие во втором экране еще более очищало избранный свет, так что на вторую призму падал свет уже почти однородный. При этом, как он и ожидал, оказалось, во-первых, что *вторая призма уже почти не рассеивает цветов*, и во-вторых, что *показатель преломления постепенно возрастает от красного цвета к синему*. Когда таким образом выяснилось, что каждому цвету соответствует особый показатель преломления (и наоборот), то далее предстояло определить эти показатели в отдельности, но для этого нужно было раньше точно отграничить отдельные цвета. По теории Ньютона спектр состоит из отдельных различно окрашенных круглых пятен соответственно различной преломленности лучей; но так как края спектра были прямолинейны, то Ньютон решил, что спектр составляется из *бесконечно большого числа кругов* и что, следовательно, имеется *бесконечно большое количество цветов, постепенно переходящих друг в друга*. Чтобы, однако, разграничить части спектра определенным образом, он разделил его на общеизвестные семь основных цветов и попытался *определить протяжение каждого из них, равно как и протяжение промежуточных переходных тонов*. Продолжив спектр за фиолетовый край на такую же длину и приняв двойную длину спектра за единицу, он нашел протяжение от конца продолженного спектра до конца фиолетовых лучей равным $\frac{1}{2}$, а отсюда до конца синих $\frac{9}{16}$, до конца голубых $\frac{3}{5}$, и далее $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$ и 1 (до конца красных). Ньютону показалось крайне интересным, что эти числа пропорциональны длинам струн, соответствующих тонам минорной гаммы; но нельзя не видеть, что это сходство не является естественным и что оно получается в результате произвольного разграничения цветов. Несмотря на это, сходство семи цветов с семью тонами октавы и позднее наводило ученых на рискованные сближения. Некто *П. Кастель* составил проект оптической музыки и оптического фортепиано, обещая доставить ими глазу такое же наслаждение, какое ухо получает от гармонических звуков. Свой план он изложил в 1731 г., но большой конкуренции звуковым фортепиано не составил ¹.

Для Ньютона эти числовые отношения, несмотря на их произвольность, имели то значение, что, приняв ширину каждой из разграниченных таким образом полос пропорциональной разности синусов углов преломления при одинаковых углах падения, он вычислил из показателей преломления крайних цветов показатели всех промежуточных пяти, по крайней мере, для случая перехода из стекла в воздух. Этими же числами он воспользовался для того, чтобы решить, в какой пропорции следует смешать различные цвета, чтобы получился белый свет. К сожалению, восстановление белого света ему удалось осуществить лишь для призматических цветов, а смешением света от цветных пигментов он получил лишь неопределенные серые тона, которые более или менее приближались к белому цвету.

¹ *Montucla*, «Hist, des Math.», III, стр. 566, 567.

196 РАДУГА. АХРОМАТИЗМ

Чтобы объяснить появление *цветной каймы* тел при наблюдении сквозь призму, Ньютон пропускал свет на призму через отверстие почти такой же ширины, как сама призма. Тогда на экране получалось изображение щели белое по середине, фиолетовое с одного края и красное с другого. Это изображение он объяснил слиянием многих спектров, которые по середине все покрывают друг друга, между тем как от верхнего спектра остается непокрытым и однородным и чистым по цвету только верхний край, и от нижнего — только нижний.

Свои открытия по дисперсии света Ньютон с большим успехом приложил и к *теории радуги*. Декарт лишь мог определить, что главная и побочная радуга состоят из дуг круга с радиусами приблизительно в 41° и 51° . *Ньютон же не только объяснил цвета радуги и их расположение в обеих дугах, но, зная показатели преломления для разных цветов, мог с точностью определить радиусы отдельных цветных дуг и, следовательно, самую ширину обеих радуг. Ширину главной радуги он нашел в $2^\circ 17'$, а побочной — в $3^\circ 43'$.* Этим теория радуги была исчерпана, за исключением «избыточных» радуг, которые появляются как за внутренним краем главной радуги, так и за наружным побочной; впрочем, вполне удовлетворительного объяснения для них не существует и доныне.

Открытие дисперсии света произвело большой переворот как в теории, так и в практике зрительных труб. До того времени неясность изображений в сильно увеличивающих зрительных трубах приписывали главным образом *сферической аберрации* (явлению, происходящему вследствие того, что сферические поверхности не собирают в одной точке всех лучей, выходящих из какой-либо точки). Поэтому Декарт предлагал даже употреблять *эллиптические или гиперболические стекла*. Ньютон показал, что вред от сферической аберрации значительно меньше, чем от дисперсии света, и *предложил* поэтому *зеркальные телескопы*, где последний недостаток почти устраняется. К сожалению, он допустил при этом важную ошибку. *Считая дисперсию света необходимо связанной с преломлением, он полагал, что их величины пропорциональны друг другу;* другими словами, он не предполагал, что отношение между преломлением и цветорассеянием в разных средах различно и что, следовательно, могут быть найдены способы устранять дисперсию, сохраняя в то же время преломление, или наоборот. Как бы то ни было, *он был убежден в невозможности уничтожить хроматическую аберрацию в трубах с чечевицами*, и для сильных увеличений считал рефлекторы единственно возможными инструментами. Мы имеем здесь один из немногих случаев, когда мнение Ньютона оказалось ошибочным, несмотря на то, что оно относилось к области фактов и математических отношений.

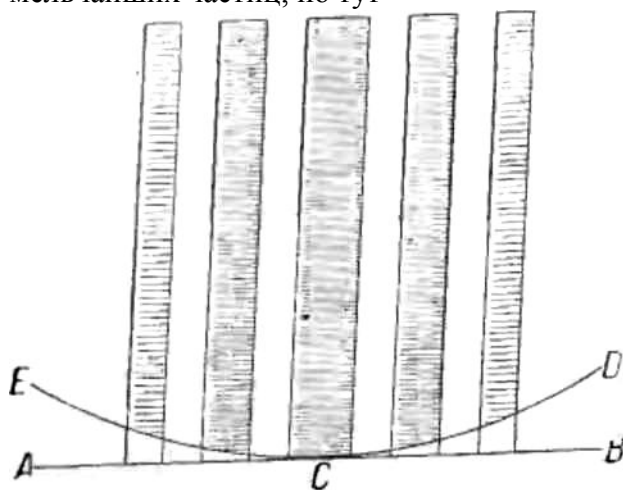
Цвета тонких пластинок были исследованы Ньютоном совершенно тем же путем, как и дисперсия света. Чтобы удобнее наблюдать эти явления, которыми занимались уже Бойль и Гук, Ньютон употреблял сочетание двояковыпуклой чечевицы с плосковыпуклой или плосковыпуклой чечевицы со стеклянной пластинкой, прижимая чечевицу выпуклой стороной к плоской поверхности. Рассматривая стекла в однородном (одноцветном) отраженном свете, он находил в том месте, где они соприкасались, темное пятно, а вокруг него — попеременно светлые и

ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК 197

темные кольца. В белом свете явления оставались по форме те же, но вместо светлых и темных колец получались чередующиеся кольца разных спектральных цветов. При рассматривании в проходящем свете явление «обращалось» в том смысле, что бывшее светлое кольцо оказывалось темным, и всякий данный цвет превращался в дополнительный. Ньютон различал повторяющиеся в разных кольцах цвета как цвета первого, второго, третьего и т. д. порядков и пытался прежде всего определить количественную сторону явлений. Наложив двояковыпуклую чечевицу с радиусом кривизны в 50 футов на плоскую сторону плосковыпуклой чечевицы с радиусом кривизны в 7 футов, он нашел, что в отраженном белом свете толщина воздушных слоев между стеклами в самом светлом месте первого цветного кольца составляла $\frac{1}{178000}$ дюйма, в самом светлом месте второго кольца $\frac{3}{178000}$, в третьем $\frac{5}{178000}$ и т. д.; тогда как толщины воздушных слоев в самых темных местах кругов равнялись $\frac{2}{178000}$, $\frac{4}{178000}$, $\frac{6}{178000}$ и т. д. Таким образом *толщины воздушных слоев, а отсюда и квадраты соответствующих радиусов цветных кругов относились между собой, как ряд натуральных чисел*. Тот же закон был найден Ньютоном для всех кругов, образующихся в однородном свете; только здесь абсолютные величины кругов были не одинаковы, а именно, в различных однородных лучах квадраты радиусов первых светлых кругов относились между собой, как кубические корни из чисел 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$ соответственно цветам белому, красному, оранжевому и т. д. до фиолетового. Из такого различного положения кругов в различных одноцветных лучах легко было при помощи теории сложного состава белого света объяснить происхождение цветных кругов в белом свете. Оставалось только найти объяснение кругов, видимых в однородном свете, на основании общих свойств световых лучей. Ньютон заподозрил, как видно из примененных им способов измерения, что эти круги происходят от воздушного слоя между стеклами, и с целью проверить свое предположение он наполнил пространство между стеклами водой. Круги появились и при этом условии, но размеры их представляли лишь $\frac{7}{8}$ величины кругов прежних опытов, и толщины соответственных водяных слоев составляли, следовательно, не более $\frac{49}{64}$ соответственных толщин воздушных слоев. Это число приблизительно равно показателю преломления $\frac{8}{4}$ при переходе из воды в воздух. Приняв такое отношение для всех веществ, Ньютон считал возможным на основании однажды вычисленных для воздуха толщин промежуточных слоев определить соответственные толщины и для других веществ и применил эти данные к своей теории естественных цветов тел. Несмотря, однако, на установленную зависимость цветов от толщины воздушных слоев между стеклами, основной вопрос, т. е. происхождение самих колец, все еще оставался невыясненным. Ньютон после долгих размышлений счел себя, наконец, вынужденным приписать световым лучам совершенно новые и странные свойства. Он допустил, что *каждый луч на своем пути претерпевает особого рода видоизменения, вследствие которых он становится в одном месте более способным к отражению, а в другом легче преломляемым*. Эти видоизменения или так называемые приступы отражения и преломления (fits of easy reflexion or of

easy transmission) следуют друг за другом в равные, но весьма малые промежутки времени, которые, однако, (неодинаковы для различных цветов: именно, последние всего больше для красного, и всего меньше для фиолетового. Пусть на плоскую стеклянную пластинку AB будет положена плосковыпуклая чечевица ECD : в таком случае луч света, падающий на AB , смотря по фазису приступа, в котором он находится в данное мгновение, частью пройдет через AB , частью же будет отражен. Посмотрим теперь на чечевицу сверху, стало быть в отраженном свете. Вблизи точки C свет упадет на чечевицу еще в том самом состоянии, в котором он упал на AB , т. е. в состоянии большой отражаемости, и будет, следовательно, отброшен от этой поверхности: тогда глаз, расположенный над ECD , увидит вокруг C темное пятно. Но лучи, падающие дальше от C , должны пробегать от ACB к ECD более длинный путь, и потому на некотором расстоянии от C будут падать на ECD , находясь уже в противоположном периоде более легкой преломляемости, они, следовательно, пройдут через ECD , и глаз увидит светлый круг и т. д. Легко, далее, понять, почему *цветные круги выявляются отдельно лишь при очень тонких слоях, и каким образом вещество промежуточного слоя может изменить размеры интервалов приступов*. Но, с другой стороны, крайне трудно, конечно, представить себе существование подобных приступов в светлом луче. Мы ниже еще познакомимся с доводами Ньютона в пользу различных свойств лучей.

Итак, тонкие пластинки будут пропускать только более или менее однородный свет, именно такой, который успеет достичь обеих поверхностей пластинок в одном и том же фазисе приступа. Ньютон объясняет таким образом происхождение цветных колец, игру цветов в мыльных пузырях, цвета тонких пластинок слюды, закаленной стали, расплавленных металлов и даже естественные цвета тел вообще. Всякое однородное тело по природе прозрачно, и непрозрачность его происходит только вследствие нахождения внутри тела множества наполненных воздухом промежутков (пор), от стенок которых свет многократно отражается и вследствие этого гаснет. Вот почему стекло вполне прозрачно; пористая же бумага просвечивает только после того, как ее поры наполняются пропитывающим маслом; пластинки всех вообще веществ должны быть прозрачны при достаточно малой толщине. Непрозрачное тело состоит, по крайней мере на поверхности, из прозрачных тонких пластинок, которые, смотря по свойствам тела, более или менее тонки и, следовательно, пропускают лучи того или другого цвета. Цвет этих тонких пластинок и будет естественным цветом тела вообще, Ньютон хотел даже воспользоваться естественными цветами тел для вычисления величины их мельчайших частиц, но тут



Черт. 11.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА 199

возникло затруднение, являются ли цвета данного тела цветами первого, второго или третьего порядка.

Теория Ньютона о составном характере белого света нашла блестящее подтверждение при исследовании им явлений дифракции¹, где он повторил опыты Гримальди с необходимыми для его целей видоизменениями. Он пропускал в темную комнату свет через отверстие свинцовой пластинки, улавливая его на белый экран; поперечник отверстия был равен $\frac{1}{4}$ дюйма. Когда при этих условиях он держал в 12 футах позади отверстия человеческий волос толщиной в $\frac{1}{280}$ дюйма и улавливал тень на расстоянии 4 дюймов от волоса, то ширина тени равнялась $\frac{1}{60}$ дюйма; на расстоянии же 2 дюймов от волоса она равнялась $\frac{1}{28}$ дюйма и т. д. Тень была, следовательно, во всяком случае гораздо шире, чем она должна была быть при чисто прямолинейном распространении света; сверх того, по обе стороны ее виднелись три цветные полосы, окаймленные изнутри голубым цветом, а снаружи красным. Для объяснения этого явления Ньютон проделал те же опыты с однородным светом и здесь нашел то же, что и прежде на кольцах, именно только ряд светлых и темных полос, расстояния между которыми были, однако, различны для разных цветов. При красном цвете расстояние первой полосы от тени, отбрасываемой волосом в 6 дюймах расстояния, равнялось $\frac{1}{37}$ дюйма; в фиолетовом же цвете то же расстояние составило $\frac{1}{46}$ дюйма. Отсюда Ньютон вновь вывел заключение, что как в явлениях преломления и цветах тонких пластинок, так и в явлениях дифракции света составные цвета белого света изменяются и отклоняются неравномерно, но расходятся и располагаются рядом. Для объяснения же появления полос и в однородном свете *Ньютон был вынужден придать свету еще одно новое свойство*. Он предположил, что всякий свет, встречая на пути своего распространения какое-нибудь тело, в известной мере отталкивается или отклоняется телом в сторону, чем и объясняется наблюдаемое расширение тени; но, обладая в то же время приступами, свет отгибается в большей или меньшей степени, описывая при прохождении подле тел змееобразно изогнутую линию. Тройные полосы возле тени являются результатом отклонения различных лучей в различных фазах приступа.

Для правильной оценки работ Ньютона в них следует различать *три стороны*. Первая состоит в констатировании фактов и определении их количественных отношений. Вторая — в объяснении всех явлений цветов, исходя из теории сложного состава белого света. Наконец, третья сторона заключается в истолковании различной преломляемости, различной отклоняемости и т. д. при помощи гипотезы различных приступов световых лучей. По поводу всех этих трех сторон теории, и притом далеко не с одинаковым основанием, Ньютон и его учение подверглись столь многочисленным нападкам и встретили такое множество противников, как редкий из людей и редкая из теорий. Вместе с тем, в отношении всех этих трех сторон своего учения — опять-таки с не-

¹ Ньютон назвал это явление склонением (inflexion), Гук уклонением (deflexion), Гримальди — дифракцией. Удержалось, как наиболее правильное, только последнее выражение.

200 ПРОТИВНИКИ И ЗАЩИТНИКИ НЬЮТОНОВОЙ ОПТИКИ

одинаковым правом — Ньютон получил такое *широкое признание* и приобрел такой *авторитет*, как немногие из ученых.

Что касается констатирования фактов, то здесь противники Ньютона распадаются на два лагеря: *одни утверждали, что самые факты неверны, другие же, — что Ньютону не принадлежит присвоенное им право первенства их открытия.* К числу противников первого рода принадлежал доктор *Ф. Линус* из Люттиха, известный уже нам с не особенно выгодной стороны; в письме к своему приятелю (октябрь 1674) он сообщил, что ему никогда не удавалось видеть удлинённого спектра при ясном безоблачном небе; позднее же он взял под сомнение наблюденную Ньютоном форму спектра. После смерти Линуса на сцену выступил его ученик *Гасконь* с заявлением, будто он со многими свидетелями видел спектр круглой формы. Когда же его принудили замолчать, люттихский физик *А. Лукас* сообщил, что он воспроизвел те же опыты другим способом, чем описано у Ньютона. Вначале Ньютон жаловался на то, что его опыты берут под сомнение, между тем как их достоверность должна быть очевидна каждому при внимательном исследовании; под конец же он обратил внимание своих противников на то, что они, по всей вероятности, наблюдают при слишком широком отверстии и получают вследствие этого цветные каймы вместо спектра или же принимают побочный спектр, образующийся вследствие отражения от боковых поверхностей призмы, за главный спектр, даваемый преломлением. Он особенно настоятельно выставлял на вид свой *experimentum crucis* и его подробное описание. Мало-помалу эти доводы успокоили противников Ньютона ¹. Впрочем и позднее раздавались время от времени подобные же возражения. *Марриот*, например, повторяя опыт по указанию Ньютона, не нашел фиолетовых лучей однородными, вследствие чего оксфордский профессор *Дезагюлье*, весьма искусный экспериментатор, доказал по поручению Ньютона, что Мариотт недостаточно тщательно отделил лучи. Наконец, за несколько лет до смерти Ньютона венецианец *Рицетти* заявил, что он повторил все опыты Ньютона и нашел их все без исключения неудовлетворительными и ничего не доказывающими. Лейпцигский профессор *Г. Ф. Рихтер* отвечал ему, что виноват тут не Ньютон, а его собственное неумение и невнимательность, когда же и после этого Рицетти не унялся, то Дезагюлье в 1728 г. доказал его несостоятельность уже с неопровержимой ясностью. Действительно, с этой стороны Ньютон был неуязвим. В числе людей, оспаривавших право первенства Ньютона на различные открытия и обвинявших его в присвоении чужой

¹ Ньютон, к сожалению, не воспользовался удобным случаем для исправления своего ошибочного вывода о постоянной пропорциональности дисперсии света и его преломления. После возражений Ньютона Лукас повторил свои опыты и наблюдал те же явления, как и Ньютон, хотя нашел, что спектр только в $3\frac{1}{2}$ раза длиннее своей ширины. Лукас сообщил об этом расхождении Ньютону, но последний все-таки остался при убеждении, что спектр в 5 раз длиннее своей ширины. По всей вероятности, однако, призма голландца была сделана из стекла, рассеивавшего свет меньше английского. Если бы Ньютон не ограничился простым отрицанием результатов Лукаса, а проверил их, он бы, конечно, убедился в различии отношения между преломлением и дисперсией в различных средах.

НЬЮТОН И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА 201

собственности, первое место занимает Гук. Он жаловался, например, что Ньютон присвоил себе сделанное им открытие цветов тонких пластинок. Ньютон ответил, что действительно он воспользовался работами Гука и других при исследовании явлений дифракции, при объяснении прозрачности и непрозрачности тел, а также цветов тонких пластинок, но что, во всяком случае, Гук предоставил ему самому придумать и осуществить необходимые опыты для получения цветов. Кроме того, Гук не дал каких-либо детальных указаний, помимо общего заявления, что цвет зависит от толщины пластинки, и даже сам сознался в тщетности своих усилий определить толщину, соответствующую отдельным цветам. Эти-то последние данные и были добыты им, Ньютоном, после многих трудов, почему он и вправе считать их своей собственностью. Против второй части ньютоновских открытий, *против теории сложного состава белого света*, восстало лишь несколько голосов, притом гораздо позднее, к концу XVIII столетия. Они нашли мало сочувствия в среде физиков; физики и математики были вообще расположены в пользу дисперсии света и высказывали сомнение лишь по отдельным частным вопросам. Иезуит *Пардиз* (профессор математики в Клермоне) попробовал, было в 1672 г. объяснить спектр дифракцией света, но должен был тотчас же сдаться. В том же 1672 г. выступил какой-то *аноним*, не отрицавший сложного состава белого света, но допускавший существование только двух основных цветов. Анонимным автором был, несомненно, Гук. К его мнению примкнул в 1673 г. *Гюйгенс*, который тоже полагал, что все явления могут быть объяснены при допущении двух цветов (синего и желтого). Против обоих Ньютон выступил победоносно со своим *experimentum crucis*. Тогда оба противника напали на *третью часть ньютоновской теории*, на гипотезу различных приступов светового луча и на ньютоновское воззрение на сущность света вообще.

Гук, как мы уже знаем, наметил в несколько туманной форме новую *теорию световых колебаний*, истинным творцом которой, как мы скоро увидим, был, однако, Гюйгенс. Ньютон же больше склонялся в пользу *теории истечения света* и на ней в конечном счете основывал свои объяснения явлений света. Тем не менее, он *положительно отрицал, будто он считает эту теорию единственно правильной*, вполне сознавая, что для объяснения его важнейших открытий вовсе не требуется решения в пользу той или другой теории. Произведенное им *определение различной преломляемости цветных лучей и его учение о составе белого света остаются непоколебимыми, независимо от каких-либо теорий* и, следовательно, не могут быть оспариваемы с точки зрения какой бы то ни было теории. Точно так же *сведение естественных цветов тел к цветам тонких пластинок не связано с какой-либо гипотезой о природе света*. На этом основании Ньютон мог в 1672 г. с полным правом употребить в своем ответе безымянному противнику, напечатанном в «Philosophical Transactions», следующие выражения: что касается упрека в том, что он (Ньютон) рассматривает свет скорее как материальное вещество, чем как энергию, приводящую в колебание эфир, то он не отрицает своей склонности к первому воззрению; впро-

202 ТЕОРИЯ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА. СВОЙСТВА ЛУЧЕЙ

чем, последнее не имеет никакого отношения к открытым им свойствам света. И так как *истинная сущность света представляется ему загадочной, он намеренно избегает высказывать какое-либо определенное суждение о том, каким образом свет распространяется*. Если, однако, желать придерживаться гипотезы Гука и Гюйгенса, согласно которой ощущение света обуславливается сотрясением эфира, подобно тому как ощущение звуков — колебаниями воздуха, то весьма легко переложить различную преломляемость света на их язык. Тогда *ощущение белого света было бы тем ощущением, которое получается, когда все колебания, исходящие от светящегося тела, достигают глаза без смещения; ощущение же цветного света пришлось бы объяснить разложением неравных колебаний, вызванных сопротивлением преломляющей среды*. Так как наибольшие и наиболее продолжительные колебания дают ощущение красного цвета, наиболее малые и короткие — фиолетового, а промежуточные между ними — ощущение прочих цветов, то самые большие колебания естественно должны легче преодолевать препятствия среды и испытывать меньшее преломление сравнительно с другими. Следовательно, различная преломляемость света несколько не противоречит гипотезе, по которой цвета обуславливаются различной скоростью колебаний эфира, подобно тому, как звуки происходят от неравных колебаний воздуха. Несмотря на это, Ньютон все-таки чувствовал вполне естественную и правильную потребность дать теоретическую основу своему учению о приступах световых лучей, и потому со временем все более и более склонялся в пользу теории истечений, хотя еще в своей оптике, изданной в 1704 г., он не признавал теорию колебаний исключенной, а в приложенных к книге вопросах прямо ссылается на нее.

Итак, по мнению Ньютона, *всякое светящееся тело испускает мельчайшие частицы, которые, попадая на сетчатку, производят ощущение света; величина этих частиц для различных цветов различна, всего больше она для красного, всего меньше для фиолетового цвета*. Все частицы при своем переходе в более плотную среду или даже при приближении к ней испытывают притяжение, вследствие чего при наклонном падении на поверхность раздела двух сред мельчайшие из частиц отклоняются всего сильнее, а наиболее крупные всего меньше. При этом у всех частиц без исключения благодаря притяжению скорость увеличивается, и потому *последняя должна в более плотной среде быть большей, чем в менее плотной среде*. Притяжение световых лучей материей оказалось, однако, недостаточным для объяснения всех явлений; в связи с отражением света *материальным средам приходилось приписать и отталкивательную силу*, а оба эти влияния уже было трудно совместить. Но при этом столь частое наступление световых приступов оставалось все еще не разъясненным. Для последней цели Ньютон принял еще, что *световые частицы приводятся отталкивательными или притягательными силами или другими влияниями в колебание, которое происходит в направлении луча, но распространяется со скоростью, большей скорости света*. Следовательно, луч получает приступ более легкого прохождения или более легкого отражения в зависимости от того, увеличивается ли скорость распространения луча

БЛИЖАЙШАЯ СУДЬБА ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА 203

под влиянием скорости колебания или получает противоположное направление. Для объяснения явлений дифракции световые лучи должны были опять претерпевать новые приступы. В «Вопросах», приложенных к «Оптике», Ньютон ставит вопрос, *не зависит ли пригибание и отгибание лучей при прохождении их возле тела, бросающего тень, от изменчивых приступов к притяжению или отталкиванию их телами*. Наконец, помимо разнообразных приступов, луч был еще наделен различными другими свойствами. Так, для объяснения вновь открытого двойного преломления в известковом шпате Ньютон счел необходимым предположить, что луч света имеет по различным направлениям различные свойства, а именно — две противолежащих стороны его дают обыкновенное преломление, а другие две стороны — необыкновенное. Как ни остроумна последняя мысль и как ни плодотворна она оказалась при объяснении поляризации на основе волновой теории, но в отношении гипотезы истечений она являлась еще одним из тех произвольных и необоснованных предположений, *накопление которых сделало эту теорию все более и более неправдоподобной и, наконец, совершенно невозможной*.

При всех произвольных предположениях у Ньютона было всегда наготове оправдание, что *гипотезы не оказывают никакого влияния на его оптические открытия, что у него нет никакого интереса к вопросу о природе света, и что он свою теорию дает лишь в виде удобного вспомогательного средства для объяснения, а отнюдь не как нечто фактически существующее*. Когда вышла в свет ньютоновская «Оптика» (1704), трактат Гюйгенса¹, где все оптические явления объяснены с точки зрения световых колебаний, был уже давно известен, следовательно, для такого человека, как Ньютон, имелось достаточно оснований для окончательного выбора между двумя противоположными теориями. Односторонность, в результате которой он не считал физика обязанным заниматься исследованием сущности явлений, и упорство, с которым он сам уклонялся от проверки физических работ, могущих дополнить его односторонний взгляд, были весьма прискорбны и принесли много вреда его ученикам и преемникам. Последние уже прямо и решительно отказались от проверки противоположных мнений и, опираясь на гений и добросовестность своего учителя, провозгласили теорию истечений, принятую Ньютоном только как удобный способ объяснения, единственно верной и соответствующей действительности. Несмотря на то, что среди приложенных к «Оптике» 1704 г. вопросов можно встретить и такие, где Ньютон допускает возможность волновой теории, ученики не поняли приема, при помощи которого учитель желал только сложить с себя ответственность и необходимость дальнейшего исследования. Они придерживались лишь того, что использовал учитель, не обращая внимания ни то, что учитель одновременно считал не исключенным. *Ньютон должен был еще на склоне лет заметить такое направление в работах своих учеников, но он не принял против него никаких мер*. При рассмотрении теории всеобщего тяготения мы

¹ Ньютон, по-видимому, успел только поверхностно прочесть это сочинение, потому что в своей «Оптике» он дает неверное правило для нахождения необыкновенного луча, тогда как у Гюйгенса уже дано верное.

еще раз встретимся с подобным же странным образом действия со стороны великого физика.

В результате *волновая теория света была голословно отвергнута последующими поколениями, и когда с течением времени она попыталась вновь возродиться, то она могла одержать верх над враждебной теорией, освященной столетней традицией, лишь после упорной борьбы и при помощи новых научных открытий.*

К числу физиков-экспериментаторов, какими были Бойль, Гук и др., принадлежит и МАРИОТТ, отличавшийся, впрочем, от них значительной математической подготовкой. О жизни его известно очень немного. Родившись в 1620 г. в Бургонии, он рано принял духовное звание, был священником St. Martin Sous Beaune в окрестностях Дижона, сделался в 1666 г. членом Парижской академии и умер в Париже в мае 1684 г. Мы уже упоминали о заслугах Мариотта в области *учения об ударе тел*, а также о менее удачном его *возражении против ньютоновской теории цветов*. Впрочем, в сочинении «*Essai sur la nature des couleurs*» (Париж, 1681), где помещено это неудачное возражение, имеются другие главы, способные принести ему больше славы. К числу последних относятся в особенности *исследования цветных колец вокруг солнца и луны, а также побочных солнц и побочных лун*. Среди колец отличают два вида: *меньшие* с радиусом в $2\text{—}5^\circ$ и *большие* с радиусом в $20\text{—}40^\circ$. Меньшие кольца Мариотт пробовал объяснить двойным преломлением лучей света при прохождении их через водяные капли. Это, однако, неверно, потому что при таком условии порядок цветов был бы обратным; правильное, признаваемое и до сих пор верным объяснение этого явления было дано впервые Фраунгофером. Что касается больших колец и побочных солнц, то Мариотт совершенно правильно объяснил их присутствием ледяных иголок и призм, носящихся в более высоких слоях атмосферы. Он даже тщательно вычислил величину дуг на основании своей теории и нашел результаты согласными с наблюдением. Мы, однако, не можем останавливаться долее на этих вопросах, которыми занимался и Ньютон в своей «Оптике», а Гюйгенс — в отдельной монографии. Подробности можно найти у Вильде («*Gesch. d. Optik*», том II, стр. 273 — 294).

Другое важное оптическое открытие было сообщено Мариоттом Парижской академии уже в 1666 г.¹, именно открытие так называемого *слепого пятна в глазу*. При анатомических исследованиях он заметил, что зрительный нерв входит в глаз не против самого зрачка, а несколько наискось, ближе к носу. Попробовав затем направить изображение предмета на это место, он к величайшему своему удивлению должен был убедиться, что оно совершенно не чувствительно к свету. Отсюда Мариотт вывел любопытное заключение, что сетчатая оболочка вообще не является органом зрения, и в подтверждение указал на ее прозрачность. По его мнению, восприимчивой к свету частью глаза должна быть сосудистая оболочка, черный цвет которой особенно приспособлен для этой функции. Воззрение Мариотта долго служило пред-

¹ Observations sur l'organ de la vision.

метод споров, пока, наконец, Галлер (1708 — 1777) не восстановил раз навсегда прав сетчатки в своей «*Physiologia*».

Важнее оптических исследований Мариотта его работы по *механике жидкостей и газов*, изложенные в сочинениях «*Essai sur la nature de l'air*» (Париж, 1676) и «*Traité du mouvement des eaux et des autres fluides*» (Париж, 1686). В последнем Мариотт впервые рассматривал вопрос о *прочности тел по методу Галилея* и притом с успехом. Он исследовал отношение сопротивления излома к абсолютной крепости в предположении, что волокна тел должны растягиваться перед изломом, тогда как Галилей не принял во внимание этого условия. Мариотт выводит для величины груза P , разламывающего призматический брус длины AB и высоты AC при абсолютной прочности V следующую формулу:

$$P = \frac{1/3 AC}{AB} \cdot V$$

Это выражение согласуется с опытом лучше галилеевских правил. Однако впоследствии Я. Бернулли поставил в упрек Мариотту принятое им допущение, что растяжение волокон пропорционально грузу, что не соответствует действительности.

В «*Traite du mouvement*» Мариотт подтвердил многочисленными опытами торичеллиев закон о скоростях истечения жидкостей. Исследовав, далее, *высоту поднятия фонтанов*, он объяснил отставание ее от высоты падения сопротивлением воздуха и трением водяных частиц в вытечном отверстии. Вместе с тем он составил таблицы зависимости высот поднятия от ширины отверстия, причем оказалось, что *высота поднятия возрастает до известной степени с величиной вытечного отверстия*. Мариотт постарался дать ответ и на важный вопрос о *происхождении вод источников*. Он поручил с этой целью одному из своих друзей в Дижоне наблюдать годовую высоту атмосферных осадков и получил от него соответствующую высоту в 17 дюймов. Для большей верности он принял эту величину равной 15 дюймам и, приняв водный бассейн Сены до Парижа равным 3000 кв. миль, он вычислил годовое количество дождя на всю область, которое оказалось равным 714 150 млн. куб. футов. Годовое количество воды, приносимой к Парижу Сеной, составляет всего 105 120 млн. куб. футов, следовательно, меньше $\frac{1}{6}$ части всех атмосферных осадков; поэтому Мариотт присоединяется к мнению Витрувия, что вода источников образуется исключительно из дождей и снега. Но как в свое время Витрувий, так и теперь Мариотт не получил всеобщего признания. Клод и Пьерр Перро вернулись к теории Декарта о том, что водяные пары выходят из подземных полостей, и привели соответствующие примеры, где при вскрытии таких полостей из них вырывались пары, а источники в этой местности иссякли. Вудвард (1695) считал всю землю шаром, наполненным водой, которая питает источники постоянным испарением. Седило (1693 г.) напал на основу марриоттовской теории, именно на расчет атмосферных осадков, и нашел — на основании определенно неверных данных, — что в Англии и Шотландии количество дождя вдвое меньше, чем это необходимо для питания рек. Галлей полагал, что сверх дождя и снега питанию источников способствуют пары, приносимые с моря на сушу и сгущающиеся на вершинах гор в воду; наконец, де-ла Гир

206 ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ БАРОМЕТРА

(1703) выступил против Мариотта с указанием, что дождевая вода обычно не проникает в землю глубже 2 футов и, следовательно, она не может питать глубоких источников.

В «*Essai sur la nature de l'air*», 1676 г., Мариотт впервые изложил закон, носящий его имя, и доказал его рядом опытов при давлениях больших и меньших атмосферного. Хотя Бойль опубликовал тот же закон в 1662 г., и, стало быть, право первенства открытия не принадлежит Мариотту, но последний, во всяком случае, сумел воспользоваться открытием с большим успехом. На основании тщательных наблюдений Мариотт счел возможным принять, что барометр, показывающий на поверхности земли давление в 28 дюймов, снижается на $\frac{1}{12}$ линии, если его поднять на высоту 5 футов над поверхностью земли. Для *вычисления высоты места по наблюдаемому уровню барометра* он представил себе, далее, воздух разделенным на ряд слоев, причем все они соответствуют $\frac{1}{12}$ линии ртутной высоты, т. е. все одинаково тяжелы и равны по весу ртутному столбику в $\frac{1}{12}$ линии высоты. Вся атмосфера состоит, следовательно, из $28 \cdot 12 = 336$ или 4032 слоев, из которых нижний находится под давлением 4031, следующее затем — под давлением 4030, 4029, 4028 и т. д. двенадцатых линии ртути — вплоть до верхнего слоя, который уже не испытывает никакого давления. При помощи своего закона Мариотт мог вычислить высоты всех этих слоев и таким образом определить высоту места над земной поверхностью, соответствующую любому барометрическому давлению. Обозначив последнюю величину для какого-нибудь места в двенадцатых долях линии буквой h , мы найдем высоту воздушного слоя в данном месте равной

$$\frac{4032}{h} \cdot 5;$$

высоту же H самого места равной

$$\frac{4032}{4032} \cdot 5 + \frac{4032}{4031} \cdot 5 + \frac{4032}{4030} \cdot 5 \dots + \frac{4032}{4032 - (h-1)} \cdot 5.$$

Мариотт счел суммирование таких рядов слишком утомительным и при своих расчетах брал вместо них арифметические прогрессии, которые по своему первому и последнему члену, а также по числу членов соответствовали этим рядам. Отсюда в его вычислениях произошла первая ошибка; вторая имела своим источником деление атмосферы на слои, равные $\frac{1}{12}$ линии ртути, и принятие давления во всех точках этого сравнительно высокого слоя одинаковым; наконец, и исходное положение, что ртуть опускается на $\frac{1}{12}$ линии при поднятии в воздухе на 5 футов, было неточно. Все эти ошибки были, однако, исправлены лишь постепенно, и долго еще после Мариотта высоты, выведенные из барометрических показаний, плохо согласовывались с результатами прямых измерений. *Изменение показаний барометра на одном и том же месте* Мариотт правильно объяснил воздушными течениями, но полагал, что действие последних заключается лишь в том, что воздушные течения сильнее или слабее направляются сверху вниз и непосредственно давят на ртуть в приборе или же от того, что, притекая из далеких стран и уносясь от земли по касательной, они препятствуют

давлению верхних слоев воздуха. Во Франции, например, северо-восточные и восточно-северо-восточные ветры приносят ясную погоду, так как, дует сверху вниз, они уплотняют воздух, задерживают поднятие незначительных земных испарений и опускание уже поднявшихся и, наконец, потому что на пути из Китая во Францию они не встречают морей. *Главнейшими причинами образования ветров* Мариотт считает *вращение земли около своей оси*, за которым воздушные слои не могут следовать с достаточной скоростью, а также *нагревание воздуха солнечными лучами и изменение положений луны*. Он производил много опытов с замораживанием воды, представлявшим в то время до известной степени модный вопрос, причем обращал особенное внимание на содержащийся в воде воздух и воздушные пузыри внутри льда, но нового ничего не нашел. В «*Essai du chaud et du froid*», где напечатаны относящиеся сюда исследования, Мариотт успешно защищает теорию, согласно которой холод есть лишь отсутствие тепла. Там же приведены его термометрические исследования глубоких погребов Парижской обсерватории, показавшие, что *погреба отнюдь не бывают зимой теплее, чем летом, но сохраняют почти одинаковую температуру в течение всего года*. Одним из способнейших, хотя и одностороннейших экспериментаторов был *Папен*, которого можно назвать скорее прожектером изобретателем чем физиком-теоретиком. *ДЕНИ ПАПЕН* родился в Блуа в 1647 г. и обучался первоначально медицине в Париже. Вскоре, однако, он, вероятно, исключительно занялся физикой, так как в 1673 г. он уже был помощником Гюйгенса. Когда гонения против протестантов во Франции стали усиливаться, Папен, будучи кальвинистом, переселился в 1680 г. в Лондон и здесь был некоторое время ассистентом Бойля. В 1688 г. он стал профессором математики в Марбурге, в 1695 г. переехал в Кассель, а в 1707 г. снова вернулся в Лондон. С этих пор дальнейшая судьба его мало известна. Он умер в Англии в 1712 г.

Первое сочинение Папена «*Nouvelles expériences du vide avec la description des machines servant a les faire*» (Париж, 1674) заключает в себе главным образом описание приборов, служивших при опытах, которые Папен производил совместно с Гюйгенсом, и изложением полученных ими результатов. Самое сочинение посвящено Гюйгенсу. В посвящении Папен говорит: «Опыты эти принадлежат вам, так как почти все они были произведены мною по вашей мысли и по вашим указаниям. Но так, как мне известно, что они служили для вас простым развлечением и что вы едва ли захотели бы вверять их бумаге, а тем менее публиковать, то я не боюсь навлечь на себя ваше неудовольствие, приняв на себя их описание». В упомянутом сочинении находится описание *воздушного насоса с тарелкой и цилиндрическим стеклянным приемником*, а также с *барометрическим прибором под последним* для определения степени разрежения воздуха. Во всем остальном воздушный насос представлял полное сходство с бойлевским. Ход от тарелки к поршню закрывался краном, отверстие в поршне вместо металлической пробки закрывалось просто пальцем; доступ воздуха по примеру Герике преграждался водой. Папен определенно приписывает этот аппа-

208 КОТЕЛ ПАПЕНА

рат Гюйгенсу, устроившему его по типу бойлевского воздушного насоса; а из одного письма Гюйгенса Герланд ¹ сверх того заключает, что Гюйгенс прибавил тарелку и приемник к воздушному насосу уже в конце 1661 г.

В упомянутом первом сочинении Папена помещено важное наблюдение, что *температура кипения зависит от давления* и что *при низком давлении вода требует значительно меньшего нагревания для кипения, чем при высоком*. Герланд ² сверх того приписывает Папену наблюдение, что *сжатый воздух при своем расширении значительно охлаждается*. «Когда кран был открыт и воздух, сжатый в приемнике (в подводном судне), стал выходить в атмосферу, показался густой туман, происхождение которого не могли в то время объяснить ни Папен, ни Гюйгенс». Но если это так, то вряд ли правильно приписывать Папену наблюдение охлаждения воздуха при разрежении, тем более что то же явление было замечено раньше первыми изобретателями воздушного насоса; например Герике, знал, что при разрежении воздуха под колоколом образуются пары. Но *Нолле*³ еще в 1740 г. не находил другого объяснения для образования паров в подобных случаях, как в соединении разнородных частиц, находящихся в воздухе. Повышением температуры кипения под высоким давлением Папен воспользовался в очень скором времени. В книге «*A new digestor of softing bones containing the description of its make and use in kookery*» (Лондон, 1691) ⁴ он описал устройство котла, известного под его именем. Котел этот имеет ту важную особенность, что он снабжен предохранительным клапаном, а именно рычажным клапаном с перемещающимся противовесом. Папенов клапан был впоследствии принят без изменения для котлов паровых машин.

После того как Папен поработал в 1681—1682 гг. в Лондоне совместно с Бойлем, последний опубликовал полученные ими результаты во втором прибавлении к своим «*New experiments*» под заглавием: «*A continuation of new experiments physico-mechanical touching the spring and weight of the air*» (Лондон, 1682) ⁵. Папен со своей стороны сделал то же несколько лет спустя в прибавлении к своему трактату о котле, под заглавием: «*A continuation of the new digestor of hones*» (Лондон, 1687), и о том же вопросе появилась статья Папена в «*Acta eruditorum*» (1687).

Трудно сказать, кому из двух ученых принадлежит первенство открытий, описанных в этих работах, но при отсутствии каких-либо на этот счет сведений этот вопрос следует разрешить скорее в пользу молодого Папена. Воздушный насос, описанный здесь, имеет, кроме тарелки еще и другое важное усовершенствование, именно перепончатый клапан взамен крана. Цилиндр, как вообще в насосах Бойля, рас-

¹ «Wiedemann's Annalen», II, 665—670.

² «Licht und Wärme», Leipzig 1883, стр. 245.

³ *Fischer*. «Gcsch. d. Physik.», IV, стр. 232—235.

⁴ По-французски книга озаглавлена: „La maniere d'amolir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps etá peu de frais" (Париж, 1682).

⁵ Первое прибавление под тем же заглавием появилось уже в 1669 г.

ВОЗДУШНЫЙ НАСОС С КЛАПАНАМИ 209

положен снизу, но поршень приводится в движение не зубчатый приспособлением, а педалью, что, конечно, не представляет улучшения¹.

Приблизительно в то же время *Кристоф Штурм* устроил воздушный насос с клапанами и описал его в своем «*Collegium experimental*» (Нюрнберг, 1676—1685). У него клапаны конические, один на дне цилиндра, другой в поршне². Воздушный насос с кранами можно было употреблять как для разрежения, так и для сгущения воздуха. Но когда начали строить воздушные насосы с клапанами, пришлось конструировать особые нагнетательные насосы. Подобный прибор, вполне сходный с применяемыми в настоящее время насосами, т. е. такой, где в основании поршня клапан открывается внутрь, а в верхней крышке цилиндра находится отверстие, описан Бойлем в упомянутом сочинении.

Говорят, что Бойль или Гук³ устроили насос с двумя цилиндрами, но удобный для работы вид ему придал *Гауксби*. Последний описал подобный насос в своем «*Course of mechanical, optical, hydrostatical and pneumatical instruments*» (Лондон, 1709). В этом насосе было по одному клапану в каждом поршне и по одному клапану на дне каждого цилиндра.

Насосы с кранами получили, наконец, другое важное видоизменение. Голландец *Волферт Сенгверд* (1646—1724) в своей «*Philosophia naturalis*» (Лейден, 1685) описал прибор совершенно нового устройства, изобретенный им еще в 1675 г., но сконструированный впервые в 1679 г. Цилиндр здесь лежит наклонно, клапанов вовсе нет; их место заступает единственный кран, известный двухходовой кран Сенгверда. Насосы этой формы распространились очень быстро и имели особенный успех в Германии, где их изготовлял лейпцигский механик Леопольд⁴.

Около середины 80-х годов XVII столетия были достигнуты значительные улучшения в устройстве *МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ*, хотя до совершенства не удалось еще довести ни одного из них. Упомянутый выше альтдорфский профессор *И. Кристоф Штурм* (1635—1703), в своем «*Collegium experimentale sive curiosum*» описал уже *дифференциальный термометр*, изобретателем которого обыкновенно считается *Лесли*. *Вильям Молине* (1656—1698, богатый дублинец) предложил в «*Phil. transactions*» новый *гигрометр*. Последний состоял из пенькового шнура около 4 футов длины, к нижнему концу которого была прикреплена фунтовая гиря с показателем. Штурм устроил гигрометр с горизонтальным деревянным диском и отвесной кишечной струной, с показателем наверху. *Даленсе* описал в «*Traite des baromètres, thermomètres et hygromètres*» (Амстердам, 1688) прибор, состоящий из бумажной или кожаной полоски, слабо

¹ *Poggendorf*, «*Gesch. d. Physik.*», стр. 473.

² *Gerland*, *Ber. üb. d. wissenschaftl. Apparate a. d. Londoner Ausstell. von. 1876*, стр. 39.

³ *Bericht üb. d. wissenschaftl. Apparate*, стр. 39; *Fischer*, «*Gesch. d. Physik.*», II стр. 449.

⁴ Подобный насос, изготовленный Леопольдом для Христофора Вольфа, находится в Марбурге; другой леопольдовский насос — в Дрездене.

натянутой между двумя медными столбиками, посредине которой подвешен груз. Еще другие, например *Бойль*, употребляли в виде гигрометра губку, пропитанную гигроскопическим веществом (раствором нашатыря) и уравновешенную на весах гири. Все эти приборы были до известной степени пригодны и, вероятно, точнее флорентийского сгустительного гигрометра ¹, где едва удавалось собирать в измерительный сосуд всю сгущенную влагу; однако для всех них оставалась недоказанной принятая пропорциональность между изменениями показаний гигрометра и увеличением атмосферной влажности; во всяком случае, показания различных приборов были несравнимы между собой.

К достижению последнего условия усердно стремились и при устройстве термометра, стараясь найти постоянные точки для деления; но здесь успех пока еще не соответствовал усилиям. В упомянутом выше сочинении Даленсе предложил, сверх известной уже флорентийцам постоянной точки таяния льда, принять еще температуру плавления коровьего масла в качестве второй постоянной точки шкалы; но это предложение, как и другое, сделанное в том же направлении, не могло быть принято по легко понятным причинам. *Галлей* около этого времени тоже занимался устройством термометров; впрочем, и ему не удалось придти к целесообразному делению, хотя ему было известно постоянство точки кипения воды. Для сравнения он наполнил свои термометры ртутью и спиртом. Он пришел к заключению, что спирт вследствие большого расширения пригоднее для термометров, чем ртуть, и предложил взять точку кипения спирта в качестве высшей точки, а температуру глубоких погребов — в качестве низшей точки деления термометрической шкалы. Его предложение могло способствовать усовершенствованию термометра не больше других. Хотя *Галлей* утверждает, что постоянство точки кипения жидкостей было ему известно уже в мае 1688 г., но наблюдения свои он напечатал только в 1693 г. в «*Phil. transactions*» под заглавием «*An account of several experiments made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids by heat and cold in order to ascertain the divisions of the thermometer*».

Стремление к улучшению метеорологических приборов совпало с более *регулярными и определенными метеорологическими наблюдениями*. Флорентийские академики, начиная с 1654 г., из года в год наблюдали свои термометры и барометры; *Пикар* производил отдельные наблюдения с 1666 г.; *Седило* (ум. в 1693 г., член Парижской академии) производил систематические наблюдения с 1688 г. до своей смерти. Особенный интерес возбуждали *дождеизмерители* вследствие споров о происхождении источников. Начатые по инициативе Мариотта измерения дождевых осадков ревностно производились *Седило* во Франции и *Ричардом Тоунлеем* в Англии. Последний производил наблюдения в Ланкастершире с 1677 по 1693 г.; *Дергам, де-ла-Гир, Алльгевер* в Ульме и др. долгое время производили подобные же измерения, не придя, однако, к каким-либо теоретическим выводам.

¹ См. выше, стр. 171.

ГАЛЛЕЙ. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ БАРОМЕТРА 211

Дождеизмерители состояли из разнообразных по форме приемников, из которых вода стекала в замкнутые резервуары, чтобы по возможности уменьшить испарение воды до момента измерения. Спорили весьма оживленно, не приходя, однако, к окончательному решению, по вопросу о том, следует ли определять количество дождя по объему или же по весу.

Мыслью о применении барометра для измерения высот занялся вскоре после Мариотта ГАЛЛЕЙ, который в 1686 г. представил Королевскому обществу работу на эту тему под заглавием: *«A discourse of the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometer, according as the places are elevated above the surface of the earth»*.

Он тоже представлял себе воздух разделенным на слои одинакового веса и, подобно Мариотту, вывел отсюда заключение, что разности высот мест наблюдения пропорциональны разностям логарифмов соответственных барометрических высот. Удельный вес ртути он принял в $13\frac{1}{2}$, удельный вес воздуха в $\frac{1}{800}$, высоту барометра у моря в 30 англ. дюймов и отсюда вывел правило: для определения высоты данного места над уровнем моря (в английских футах) следует логарифм наблюдаемой барометрической высоты (которую мы обозначим через α) вычесть из логарифма 30, умножить полученную разность на 900 и произведение разделить на 0,0144765. Другими словами, высота над морским уровнем равна $(\lg 30 - \lg \alpha) \cdot 900 / 0,0144765$ английским футам. Эта, по существу, и теперь еще применяемая формула, которой недостает только поправки на температуру и более точного определения постоянных, не привлекла к себе должного внимания во времена Галлея. Делюк (1772) и затем Лаплас ввели ее в общее употребление в исправленном виде. Следует, однако, отметить, что в то время и самые барометры были еще мало пригодны для точных измерений. Делюк устранил и эти недостатки. Колебания барометра в одном и том же месте Галлей, подобно Мариотту, объяснял действием ветров. Регулярные ветры жаркого пояса, пассаты, он совершенно правильно относил за счет сильного нагревания воздуха у экватора, вследствие чего воздух поднимается и перетекает в направлении к полюсам, а с другой стороны нижние слои воздуха передвигаются от полюсов к экватору. Что касается отклонения пассатов к востоку и западу, то он не мог определить действительных причин этого явления.

Эдмунд Галлей, о котором нам уже много раз приходилось и еще придется упоминать, родился 29 октября 1655 г. в Гаггерстоне близ Лондона, отправился в 1676 г. на остров св. Елены для составления каталога неподвижных звезд южного полушария и наблюдал здесь, подобно Нише в Кайенне, изменение длины секундного маятника, не придавая, однако, этому явлению особого значения. В 1678 г. он стал членом Королевского общества наук, в 1703 г. — профессором геометрии в Оксфорде, а в 1720 г. — директором обсерватории в Гринвиче. Здесь он и умер 14 января 1742 г.

Из своего путешествия в Каттегат Пикар привез с собой в Париж молодого датского ученого ОЛАФА РЕМЕРА, который очень скоро

212 РЕМЕР. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

оправдал честь избрания его в члены Парижской академии важным физико-астрономическим открытием. Наблюдая вместе с директором вновь построенной Парижской обсерватории *Кассини затмения спутников Юпитера*, он заметил, что если для первого из них вычислить по затмению во время противостояния Юпитера моменты будущих затмений, то с удалением Юпитера от земли затмение в действительности всегда запаздывает против вычисленного. Запаздывание постепенно возрастало до соединения Юпитера, достигая в это время 1000 секунд, а затем равномерно уменьшалось до нуля. Ремер объяснил это опаздывание *конечной скоростью света*. А так как во время соединения Юпитер находится на 40 миллионов миль дальше от земли, чем при противостоянии, то он вывел отсюда заключение, что *свет пробегает 40 миллионов миль в 1000 секунд*, или *около 40 000 миль в одну секунду*. Кассини был вначале того же мнения, но впоследствии отступил от него ввиду того, что прочие спутники Юпитера не представляют подобных опаздываний, и стал склоняться к тому, чтобы объяснить это явление неправильностями движения планеты. Ремер же упорно настаивал на своем, стараясь опровергнуть доводы Кассини указанием на недостаточность наблюдений над прочими спутниками. Картезианцы того времени отнеслись весьма недружелюбно к аргументам против мгновенного распространения света и принялись возражать с принципиальной точки зрения. Однако мнение Ремера одержало блестящую победу, когда предположение о конечной скорости распространения света получило подтверждение еще с другой стороны. Замечательный астроном и будущий директор Гринвичской обсерватории *Джеймс Брайлей* (1692—1772), подобно многим астрономам до него, пытался определить *параллакс неподвижных звезд*, который должен получаться в результате годичного движения земли. Когда же параллакс был им, по-видимому, найден, он заметил, что явление это не может быть объяснено одним годичным движением земли¹, и затем в 1728 г. установил, что величина его зависит исключительно от скорости света и скорости поступательного движения земли.

Из величины отклонения неподвижных звезд он вывел заключение, что *скорость распространения света в 10 000 раз больше скорости движения земли по ее орбите* — результат вполне согласный с ремеровским.

Ремер, принимавший в Париже деятельное участие во многих физических измерениях вместе с Пикаром, Гюйгенсом и Кассини, вернулся в 1681 г. в Копенгаген, где сделался профессором математики и много занимался наблюдениями над неподвижными звездами до 1705 г., когда новые занятия в звании копенгагенского бургомистра почти совсем отвлекли его от научных работ. Он умер в 1710 г., т. е. раньше, чем его важнейшее физическое открытие нашло подтверждение в исследованиях Брайля и вместе с тем получило всеобщее признание.

¹ „Account of a new discovered motion of the fixed stars", (Phil. Trans, 1728).

III. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ.

(Приблизительно от 1690 до 1750 г.)

Переворот, произведенный в математических науках в конце XVII в. открытием анализа бесконечно-малых, отразился вскоре на всей области физики. Нам, к счастью, не приходится разбираться в двухсотлетнем споре о том, сделано ли Лейбницем его открытие независимо от Ньютона и представляет ли дифференциальное исчисление Лейбница нечто совершенно отличное от ньютоновской теории флюксий. Мы можем, поэтому ограничиться замечанием, что Лейбниц в 1684 г. обнарудовал свое дифференциальное исчисление в форме наброска, а Ньютон в 1687 г. опубликовал свое флюксионное исчисление в столь же несовершенном виде. Но оба они, очевидно, гораздо раньше начали разработку этого вопроса, причем в этом отношении Ньютон, во всяком случае, опередил Лейбница; с другой стороны, наименование и бесконечно важный для дальнейшего развития способ обозначения, бесспорно, принадлежат Лейбницу. Математика этого периода, несомненно, обязана своим поразительно быстрым развитием Лейбницу и его великим последователям Бернулли, тогда как развитие математической физики принадлежит Ньютону и шло впоследствии в принятом им направлении.

В своих «Математических началах натуральной философии» Ньютон создал руководство по математической физике столь высокого стиля, до которого раньше него никто и не пытался подняться. Уже одно существование такого творения, обнимающего собой все отрасли математической физики, строящего ее с самого основания и доводящего ее до крайних вершин развития, должно было вызвать усиленное внимание к этой отрасли науки и привлечь к ней свежие научные силы. А то обстоятельство, что математика в это самое время приобрела новое орудие для решения труднейших задач с изумительной легкостью, пользуясь удобным и всегда одинаково применимым методом, доставило математической физике такое решительное преобладание, при котором другим отраслям нашей науки не скоро удалось заявить свои права. Наиболее выдающиеся представители естественных наук обратились к новому математическому исчислению, обещавшему верную славу; некоторые из ученых того времени, чтимых нами

214 ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

теперь в качестве представителей математического анализа, были до нового открытия ревностными экспериментаторами и только после него покинули прежний путь. Вот почему в этом периоде нам приходится искать наиболее талантливых людей и наибольшие научные достижения в области математической физики, а в области экспериментальной мы находим мало живых сил. Однако для трудолюбивых, добросовестных исследователей находятся и здесь благодарные темы, а потому и эта область вообще заглухнуть не может; мы видим тому примеры даже в эпоху наибольшего увлечения математикой. Так *совершенствование метеорологических инструментов* деятельно продолжается и приводит, наконец, к устройству *сравнимых между собой термометров*; *акустические исследования* тоже дают хорошие результаты; интересы мореплавания вызывают *точные наблюдения над магнитной стрелкой*; *конструкция часов* значительно совершенствуется; постепенно увеличивается количество *наблюдений в области электричества*. Наконец, настоящему периоду принадлежит *изобретение паровых машин*. Это достижение техники могло бы до известной степени уравновесить заслуги математической физики, если бы важность открытия не оставалась непризнанной в течение столь продолжительного времени и паровой машине не пришлось бы так долго ждать самых необходимых усовершенствований.

Особенно характерен для рассматриваемого периода союз, заключенный между изобретательским талантом экспериментаторов и механико-математическими науками, для устройства механических или механико-акустических игрушек, а равно и пристрастие всего XVIII в. к говорящим машинам, автоматам и тому подобным произведениям механического искусства. Широкая публика, положим, во все времена была весьма падка к чудесам науки, но тот факт, что привлекавшие ее чудеса были преимущественно механического свойства, служит новым признаком преобладания математических и механических интересов. От средних веков до нас дошло очень мало сведений об устройстве автоматов; известны только имена их изобретателей, каковы: *Роджер Бэкон, Альберт Великий Региомонтан*. Начиная же со второй половины XVII столетия, известия о таких произведениях механического искусства постепенно умножаются, а XVIII столетие имеет в этом отношении наибольшие достижения, сохранившиеся до настоящего времени. *Жак Вокансон* (1709—1782) изобрел в 1783 г. своего знаменитого *флейтиста*, который играл на флейте, приводя в движение клапаны пальцами; в 1741 г. появилась его не менее знаменитая *утка*, которая махала крыльями, наклонялась и вытягивала шею, кричала, пила, глотала зерна и, наконец, извергала род экскрементов. Этими и другими механическими фокусами Вокансон приобрел громкую известность; даже Парижская академия подвергла испытанию его автоматы и разрешила опубликование их описания; кроме того, он получил в 1741 г. место королевского инспектора шелковых мануфактур. После Вокансона

изготовлением автоматов прославились оба *Проза* (отец и сын) из Шо-де-Фон. Рассказывали об изобретенном ими искусственном ребенке, *который писал связно французские слова* (1777), о *пианисте, рисовальщице* и т. д. Знаменитая шахматная машина *Вольфганга фон-Кемпелена* (1734—1804) демонстрировалась перед публикой с 1769 или 1771 г. Сначала даже выдающиеся люди, например, Гинденбург, считали ее чисто механическим произведением; позднее же стали подозревать, что в ней был спрятан мальчик. Тайна так и осталась неразгаданной; что же касается изобретенной тем же лицом пишущей машины, то ее конструкция была им самим описана в 1791 г.

С этим пристрастием к механическим фокусам связаны также попытки устройства *perpetuum mobile*, т. е. такой машины, которая, будучи приведена однажды в движение, была бы способна сама собой, без применения внешних сил, поддерживать его до бесконечности. Трудно решить, когда именно возникла мысль о таком механизме; по-видимому, ее следует отнести к половине XVII столетия. *К. Шомм* («*Technica curiosa*», 1664), и *Фр. де-Ланис* («*Magisterium naturae et artis*», 1684) дают смутные намеки на нечто подобное; но лишь в конце XVII в. встречаются более частые сведения об этом. В «*Journal des savants*» с 1678 г. помещаются многочисленные проекты устройства вечно движущейся машины. *Папен, Дезагюлье, Христиан Вольф* не отрицают ее возможности; с другой стороны. *Штурм, Паран* и др. прямо заявляют о невозможности таких машин, а *де-ля-Гир* пробует наглядно это доказать. Знаменитейший *perpetuum mobile* был устроен *Оффиреусом* в 1715 г.; он состоял из колеса, автоматически продолжавшего свое вращательное движение на своей оси, после того, как его однажды приводили в движение с известной скоростью. *С' Гравезанд, Фр. Гофман* и *Вольф* не могли обнаружить здесь никакого обмана. Когда же первый проявил при исследовании слишком большое любопытство, изобретатель разбил свой аппарат, как уверял он сам, — от досады вследствие такого отношения к его произведению, как утверждали другие, — из боязни раскрытия обмана. Позднее появлялись разные искусственные машины со скрытыми двигателями, долго вводившие в обман ученых; тем не менее, Парижская академия только в 1775 г. постановила впредь не принимать на рассмотрение никаких аппаратов, выдаваемых за вечные двигатели. Воззрения же широкой публики на этот предмет долго оставались темными. Когда в 1790 г. механик Гейне (из Лемзала в Лифляндии) изобрел так называемую сухую мельницу, которая сама собой приводила в движение насосы, накачивавшие воду на ее колеса, эта мельница долго служила предметом удивления и восторженных описаний¹.

Наиболее обездоленной оказалась в этом периоде *натурфилософия*, т. е. чисто умозрительное исследование явлений природы. *Дух времени и авторитет одного человека, Ньютона, пресекли ее*

¹ *Porpe*, «*Gesch. d. Technologie*», I, стр. 175.

существование на много лет. Основы, данные науке Ньютоном, служат доказательством того, что он располагал всеми данными для исследования сущности явлений, вслед за оценкой их количественных отношений. Но задача, которую он поставил себе, — установление основ математической физики, — вместе с односторонним направлением его физико-математического гения, а быть может, также оппозиция против своего противника по естественной истории Декарта, и, наконец, нападки со стороны преемников и последователей французского философа, побудили Ньютона преднамеренно исключить из споров всякие рассуждения о сущности явлений и строго придерживаться математических отношений. «Я гипотез не строю», восклицает Ньютон с некоторой напыщенностью; и, несмотря на то, что он сам, преимущественно в «Оптике», отдал немалую дань гипотетическим предположениям, его ученики приняли эти слова за аксиому, которая должна быть положена в основу всякого исследования природы. А так как с течением времени все физики сделались более или менее последователями Ньютона, то к гипотезам стали относиться пренебрежительно и устранили их из физики в большей степени, чем это следовало бы сделать в интересах правильного развития науки. В сущности, *дух английского естествознания стремился к уничтожению гипотез уже со времени Бэкона Веруламского.* У нас было не много случаев, когда можно было указать прямое влияние Бэкона на физику; но его индуктивный метод, исключавший всякое теоретизирование, несомненно, отразился как на экспериментаторе Бойле, так и на математике Ньютоне. Старая натурфилософия, бесспорно, злоупотребляла гипотезой; даже Декарт не составлял в этом отношении исключения. Теперь же определилось намерение уничтожить это вредное орудие; а так как натурфилософия была немыслима без предположений и умозаключений, то ее-то и приходилось, прежде всего, остерегаться. Натурфилософия со своей стороны оказалась тем менее подготовленной к такому отпору, что *ее собственная совесть в этом отношении была не совсем спокойна и что ей все более приходилось уделять внимания: проблемам теории познания.* Все эти причины, вместе взятые, пресекли существование натурфилософии на целое последующее столетие; да и до настоящего времени можно видеть с ее стороны лишь попытки встать на ноги, а не настоящую жизнь.

Итак, ньютоновская школа сознательно исключила гипотезу, а вместе с нею и дедуктивную философию из физики и решила допускать в ней только эмпирический и математический методы. В предисловии к переводу ньютоновской «Оптики»¹ *Самуил Кларк* высказывается на этот счет весьма определенно: «Кто при исследовании природы не желает запутаться в величайших заблуждениях и придти к самым превратным понятиям, тот не должен искать опоры в вымышленных гипотезах и праздных предположениях, а основываться единственно на математических рас-

¹ Optice, lat, redd. Sam. Clarke, Lausanne, 1740, стр. VIII.

четах или на отчетливых и достоверных опытах». Собственно говоря, Ньютону нельзя ставить в упрек, что он тщательно отделял математические результаты и выводы от философских умозрений. *В науке не должно существовать ни малейшей неясности насчет того, что вытекает из данной гипотезы и требует еще опытных доказательств, и того, что верно при любых условиях без всяких гипотетических предположений.* С другой стороны, стоит только вспомнить об отношении физики и химии к современной нам атомистике и теории эфира, чтобы убедиться, *насколько успех естествознания, по крайней мере, в некоторых отношениях, тесно связан с гипотезой и дедукцией из гипотетических положений.* Наконец, исключение натурфилософии из области физики замедлило и даже остановило некоторые стороны развития последней в большей степени, чем принято думать. *Самостоятельная натурфилософия, без опытных и математических основ, в качестве реальной науки невозможна, — в этом убеждает нас весь ход истории. Но и чистая эмпирика без философской подготовки, без философской науки, ставящей себе общие цели, может в лучшем случае дать лишь набор сведений, а в худшем — так как полное отрешение от гипотез немыслимо — она столь же легко может попасть в туманные области, как и чистая натурфилософия.*

*При таком решительном перевороте в естественных науках невольно останавливает на себе внимание отношение к нему настоящих философов. Английская философия, правда, не имела причин быть недовольной ходом вещей; вместе с Френсисом Бэконом она отреклась от гипотез, постепенно ограничила свою сферу проблемами теории познания и еще в разбираемом периоде достигла кульминационного пункта в скептицизме Юма, который можно было связать, с физическими воззрениями Ньютона. Давид Юм (1711—1776), в своем главном философском сочинении «*Enquiry concerning human understanding*» (Лондон, 1748) отвергал всякую возможность познания необходимой причинной связи вещей. Понятие действия не включает к себе понятия причины; узнать причинную связь нельзя, потому что мы вообще видим факты, а не их связь; поэтому мы называем причиной и действием такие явления, которые мы очень часто наблюдаем происходящими в определенной временной последовательности. С этой точки зрения ньютоновский взгляд на всеобщее тяготение как на непосредственное взаимодействие тел на расстоянии оказывается вполне правильным: мы видим, что все тела стремятся друг к другу, если не встречаются препятствия, но не видим никакого явления, которое предшествовало бы этому движению и которое могло бы быть признано причиной всеобщего тяготения; поэтому совершенно недопустимо распространяться о какой-либо дальнейшей *causa gravitatis*.*

Но подобно английским, *французские и немецкие философы по низложению своего вождя Декарта тоже прекратили всякие дальнейшие нападки на новую физическую школу; дедуктивная*

218 ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

философия в свою очередь оставила мало-помалу область физики. И здесь основной причиной явилось возникновение *трудностей теоретико-познавательного характера*. Как раз со времени Декарта и проведенного им отделения понятия о силе от понятия о материи философы пытались и должны были пытаться каким-либо образом выяснить взаимодействие между духом и телом. Гейлинкс и Мальбранш пробовали дополнить своего учителя с этой стороны. Но раз философия принялась за изучение взаимодействия между духом и телом, взаимодействие материальных тел между собой естественно становилось в ее глазах задачей незначущей и второстепенной, с решением которой всегда можно было поспеть, после того как будет разрешен первый вопрос. Допущение присутствия в материи силы, одухотворяющей и ее в известной степени, казалось тогда философам даже более приемлемым, чем декартовское определение материи; что же касается возможности непосредственного действия такой силы на расстоянии, то это был вопрос, о котором физики могли спорить сколько им было угодно, философу же предстояло решить более важные вопросы.

Таким-то образом Лейбниц, разделявший вначале картезианские воззрения, из теоретико-познавательных соображений, а также с целью объяснить взаимодействие между телом и духом пришел к своей *монадологии*, которая в противоположность Декарту определяла материю через понятие силы. Тем не менее, теория монад заключала в себе так мало естественнонаучных и математических элементов, что едва ли она могла иметь какое-либо влияние на физику. Преемник Лейбница в области философии Христиан Вольф (1679—1754), хотя и был по своей специальности физиком и принимал участие в очень многих опытных исследованиях, но как в философии, так и здесь не проявил творческого ума; его воззрения интересны только как свидетельство о том, как близко философия того времени была знакома с результатами физико-математических исследований и как много она пассивно от них восприняла.

По Вольфу физический мир состоит из протяженных тел, обладающих формой и величиной, известным количеством инерции и определенным количеством двигательной силы. Эти физические тела составлены из элементов или атомов (*atomi naturae*), которые вызывают и инерцию, и двигательную силу, но каким образом это происходит, нам не известно, потому что мы ничего не знаем о свойствах этих простых элементов.

Из родственных физике наук определенные успехи сделала химия, которая впоследствии благодаря развитию атомистики сильно повлияла на физику. Но теперь именно в этом периоде она напала на мысль, весьма неблагоприятную для своего дальнейшего развития. Правда, при помощи этой мысли химии удалось соединить в одно общее понятие горение и окисление металлов, приняв, что в обоих случаях из горящих или окисляющихся тел освобождается особое вещество, или начало горения, *флоги-*

стон; но подобная мысль была, очевидно, возможна только при полном пренебрежении к исследованию весовых отношений веществ. А пока была оставлена без внимания эта сторона химических явлений, науке недоставало вернейшей опоры для развития новой атомистики. Химия в этом периоде приобрела характер систематической теоретической науки, и только впоследствии, когда она научилась определять соединения не с одной только качественной, но и с количественной стороны, она могла вступить в более близкое и плодотворное взаимодействие с физикой.

Астрономия, напротив, все более и более отделялась от физики. Могучее вспомогательное средство, данное ей Ньютоном в законе всеобщего тяготения, равно как и непрерывные успехи математики, позволили развить теорию движения небесных тел с недостижимой для прежних поколений полнотой и определять наперед положение светил с поразительной точностью. Но вместе с тем астрономам приходилось отдавать все свои силы исключительно этой науке. Лишь в немногих отдельных случаях, например при определении скорости распространения света, при изобретении ахроматических телескопов и при развитии фотометрии, физика и астрономия продолжали оказывать друг другу взаимные услуги.

Распространение наук в Европе, в общем, не претерпело изменения. Англия, Германия, Франция составляли блестящий умственный триумvirат в физике. Италия, Испания. Скандинавские государства давали отдельных представителей, а Россия давала — по крайней мере, иностранным ученым — материальные средства для научных исследований на ее территории. Организация естественных академий деятельно продолжалась. Владетели больших и малых государств охотно тянулись за титулом покровителей наук и покровительство науке стало предметом моды. *Берлинская королевская академия наук* была основана в 1700 г. Фридрихом I по предложению Лейбница и преобразована в 1743 г. Фридрихом II. Лейбниц, а после него Вольф организовали и *Петербургскую академию наук* (1725). *Мюнхенская академия* была учреждена в 1759 г., *Королевское общество наук в Геттингене* возникло в 1750 г., *Эрфуртская академия* — в 1754 г., *Яблоновское общество* (с 1846 г. переименованное в *Королевское общество наук в Лейпциге*) в 1766 г. В Швеции были учреждены академии: в 1725 г. — в *Упсале*, а в 1739 г. — в *Стокгольме*; Дания учредила *Копенгагенскую академию* в 1743 г. В Италии насчитывалось множество мелких академий; из них для физики имеют значение только *Болонская* (1712) и *Туринская* (1760). *Голландское общество наук в Гарлеме* было открыто в 1752 г. *Анналы Швейцарского общества естественных наук* начали выходить в 1765 г. В Америке организация, созданная в 1728 г. Франклином соединилась с основанным в 1744 г. Американским обществом наук в одно ученое учреждение (1769), *American Philosophical Society of Philadelphia*, которое с 1771 г. начало издавать свои труды.

220 ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЬЮТОНОВОЙ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

Мы прервали жизнеописание *Ньютона* на том времени, когда он сделался профессором в Кембридже и был занят по преимуществу оптическими исследованиями. Последние были временно оставлены им около 1676 г. для механических вопросов, все более и более привлекавших его внимание. Ньютон указывает в письме к Галлею (14 июля 1686), что мысль об уменьшении тяжести пропорционально квадрату расстояния возникла у него приблизительно *за 20 лет до того*; то был, следовательно, 1666 г.; и всем известный анекдот об упавшем яблоке, наведшем будто бы Ньютона на его великую мысль ¹, относится именно к этому году. Правильнее было бы, конечно, вспомнить, что именно в 1666 г. Борелли пытался объяснить движение планет притягательной силой солнца и начальной скоростью, и что Гук к тому же году относит свои первые соображения относительно притяжения. Сам Ньютон признает заслуги Борелли в письме к Галлею (от 20 июня 1686) и даже упоминает, что уже Буллиальд (*«Astronomia philolaica»*, 1645) указывал на притягательную силу солнца, уменьшающуюся в прямом отношении к расстоянию. *Ньютон оставляет за собою только точное математическое доказательство того, что подобная сила действительно управляет движением планет, и установление тождества этой силы с земной тяжестью.* В указанных двух пунктах заключается, собственно говоря, основное значение всей теории. Насколько было легко, например, по аналогии с уменьшением силы света высказать предположение об уменьшении притяжения соответственно квадрату расстояния, настолько же было трудно вывести из этого положения эллиптические пути планет и движения небесных светил, равно как доказать тождество этого притяжения с силой тяжести.

В идее о тождестве силы тяжести и всеобщего тяготения Ньютон не имел никаких предшественников, и по-видимому, именно эта мысль послужила основой всей его системы. Правда, уже давно начали объяснять тяжесть земных тел совокупным действием всех частей земли и даже распространили это влияние до самой луны ², но понятие о тяжести как стремлении однородного к соединению, не препятствовало тому, чтобы резко отличать силу земной тяжести, даже распространенной на однородную с нею луну, от действия притягательной силы солнца на планеты. Джон Робайсон (1739—1805), бывший с 1774 г. профессором физики в Эдинбурге, утверждает, что Ньютон еще в 1666 г. начал свои вычисления падения луны. Сам Ньютон указывает, по крайней мере, в упомянутом выше письме к Галлею (20 июня 1686), что в 1673 г., когда Гюйгенс прислал ему свой *«Horologium oscillatorium»*, он сообщил голландскому ученому о своем открытии действия земли на луну и указал на пользу гюйгенсовых законов (центробежной силы) для вычисления этого действия. Ньютон, следовательно, принимал, что земная тяжесть распространяется до луны и притом уменьшается

¹ *Pemberton*, View of, Newton's philosophy, 1728; *Voltaire*, Elements de la philosophie de Newton, 1738.

² Предположением одинаковой тяжести на земле и луне пользовались Кеплер, Кирхер, Валлис и др. для объяснения приливов и отливов. Мысль о всеобщем притяжении всех однородных материй встречается также у Ферма и Роберваля.

ПАДЕНИЕ ЛУНЫ НА ЗЕМЛЮ. УКЛОНЕНИЕ ПАДАЮЩИХ ТЕЛ 221

в квадратном отношении. Отсюда он вычислил, что путь падения луны в первую минуту должен быть немного больше 15 футов. Но луна не падает на землю по прямой линии, так как присущая ей скорость постоянно стремится двигать ее дальше по касательной к ее орбите. Притяжение земли в состоянии только постоянно отклонять ее от движения по касательной, при котором она бесконечно удалилась бы от земли, и возвращать ее на эллиптическую орбиту. Если же это притяжение тождественно с тяготением, то расстояние, на которое луна отклоняется от касательной в направлении к земле, должно быть в каждую минуту несколько больше 15 футов. Ньютон, однако, при вполне точных исчислениях получал последнюю величину равной только 13 футам, и этой разницы было достаточно, чтобы заставить его признавать свою мысль несостоятельной до тех пор, пока в июне 1682 г. на одном из заседаний Королевского общества не были сообщены результаты нового измерения земной окружности, произведенного Пикаром. Измерение это дало гораздо более точное определение земного радиуса, благодаря чему могло быть точнее вычислено и расстояние луны, всегда относимое к земному радиусу. Когда после сообщения Ньютон попробовал ввести исправленные величины в свои расчеты, он нашел согласие между путем падения луны и величиной отклонения ее от касательной в каждую минуту, т. е. нашел их равными 15 футам с небольшим. Тут только он убедился в правильности своей мысли о распространении земной тяжести, по меньшей мере, до луны и с новой энергией принялся за дальнейшие вычисления. Так повествует Робайсон («*Mechanical Philosophy*», 1822), с которым согласен и Био («*Bibliographic universelle*). Между тем, этот рассказ представляет некоторые неточности, по крайней мере, в отношении времени. Именно, результаты градусного измерения Пикара были напечатаны в «*Philosophical transactions*» уже в 1675 г., и с этого времени, конечно, стали известны всем членам Королевского общества¹.

В связи с изучением возмущений небесных тел стояли работы о *траектории свободно падающих тел на вращающейся земле*. В ноябре 1679 г. Ньютон писал Гуку, бывшему тогда секретарем Королевского общества, *об уклонениях свободно падающих тел от отвесной линии*. Прежде утверждали, что падающие тела должны отставать от вращающейся земли и, будучи, например, брошены с вершины башни, должны падать к западу от ее основания. Теперь же Ньютон заявил: *так как вершина башни имеет бо'льшую скорость вращения, чем основание, то тела, падающие с вершины, сохраняя во время падения бо'льшую вращательную скорость, должны опережать землю и падать к востоку от основания башни*. В упомянутом письме Ньютон предлагает произвести опыты падения тел с тем, чтобы по наблюдаемым отклонениям к востоку непосредственно констатировать вращение земли. Сначала Гук ответил уклончиво, критикуя предложение на словах, но когда его вынудили выполнить лежавшую на нем обязанность, он произвел требуемые опыты с высоты всего в 27 футов и, конечно, не мог констатировать какого-либо уклонения к востоку. В то время Гук из-за оптиче-

¹ Whewell, History, 3 ed., II, стр. 124.

ских вопросов был уже в скверных отношениях с Ньютоном, и вскоре они приняли еще более резкий характер.

Подобно Гуку и Ньютону, механикой небесных движений занимались в то время еще *Галлей* и *Врен*. Из третьего закона Кеплера Галлей сделал вывод, что притяжение солнца должно убывать пропорционально квадрату расстояния, и занялся определением пути планет, исходя из этого закона; но задача эта представляла с математической стороны такие трудности, которых он не мог преодолеть. Поэтому, встретившись однажды в 1683 г. с Гуком, он спросил в присутствии Врена его мнение об этих проблемах. Самоуверенный и всезнающий, как всегда, Гук ответил, что он может вывести ясно и точно все законы небесных движений из гипотезы притяжения и определить вид планетных путей; но побудить его к опубликованию своих исследований Галлею не удалось, даже когда он вместе с Вреном назначил премию за решение этой задачи. Наоборот, у Ньютона, которого Галлей посетил в Кембридже в августе 1684 г. он нашел все, чего тщетно искал у Гука, и даже более того. Галлей тогда же стал настаивать, чтобы Ньютон немедленно опубликовал свои исследования, но тот еще был занят в это время разработкой вопроса в самом общем виде *и представил Королевскому обществу рукопись окончанного труда лишь два года спустя, именно в апреле 1686 г.* Гук поднял по этому поводу страшный шум, прямо обвиняя Ньютона, будто тот воспользовался его мыслью и обнародовал его открытия под видом якобы собственных. В свою очередь рассерженный Ньютон написал тогда Галлею упомянутое уже выше крайне резкое письмо (от 20 июня 1686 г.), в котором он в свою очередь обвиняет Гука в плагиате. Вскоре, однако, Галлею удалось смягчить Ньютона, и тот в письме от 14 июля 1686 г. уже обещает ему упомянуть в примечании к своему сочинению о заслугах Гука, Врена и Галлея. Королевское общество разрешило напечатание труда, и он появился в 1687 г. при содействии Галлея, вероятно, даже на его счет, под заглавием: «*Philosophiae naturalis principia mathematica*».

Уже самое заглавие труда показывает, что это *главное сочинение Ньютона* далеко не ограничивается механикою небесных движений. Последняя занимает лишь небольшую часть труда; в целом же сочинение представляет собою *руководство математической физики, настолько полное, насколько позволяло состояние науки того времени*, но, к сожалению, не настолько ясно и легко написанное, как бы это была желательно в интересах его общедоступности.

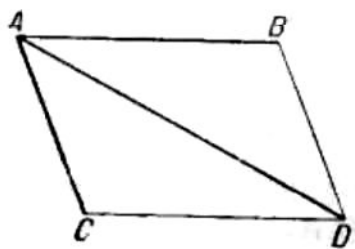
Ньютон начинает свои «Principia», в соответствии с геометрическим методом, которым проникнуто все сочинение, с *определений*. В очень обширном *введении* он определяет *количество материи или массу тела как произведение из объема и плотности; величину движения — как произведение из массы и скорости*; приписывает материи способность сопротивляться или оставаться в своем состоянии (покоя или равномерного прямолинейного движения) и переходит затем к двум крайне замечательным определениям силы. «*Приложенная сила есть направленное на тело стремление изменить его состояние — покоя или равномерного прямолинейного движения. — Центростремительная сила воздействует таким образом, что тело притягивается или толкается к какой-нибудь*

АКСИОМЫ ДВИЖЕНИЯ. ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ 223

точке как к центру или вообще направляется каким-либо образом. Затем следуют определения абсолютной центростремительной силы как пропорциональной действующей причине, распространяющейся из центра на окружающее пространство; ускоряющей центральной силы как пропорциональной скорости, которая развивается за определенное время, и движущей центральной силы как пропорциональной образовавшейся за определенное время величине движения. Относительно последнего еще особо отмечается, что эта сила должна быть равна произведению ускоряющей центральной силы на массу движущегося тела, потому что величина движения равна произведению массы тела на скорость. В примечании Ньютон обычным образом формулирует, в чем состоит различие между абсолютным и относительным пространством, абсолютным и относительным местом и затем между абсолютным и относительным движением.

За определениями следуют аксиомы движения: 1) *Всякое тело остается в своем состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если действующая на него сила не вынуждает его изменить это состояние.* 2) *Изменение движения пропорционально действующей силе и происходит в направлении последней.* 3) *Действие равно противодействию.* Дополнительно к этому указывается, между прочим, следующее: *под общим действием двух сил тело проходит за данное время диагональ параллелограмма, стороны которого оно прошло бы под действием тех же сил, взятых в отдельности;* взаимное действие многих тел друг на друга не изменяет ни алгебраической суммы количества их движения, ни положения их общего центра тяжести; тела, заключенные в данном пространстве, сохраняют свои движения друг относительно друга неизменными, независимо от того, находится ли заключающее их пространство в покое или в состоянии равномерного прямолинейного (но не кругового) движения.

Ньютон совершенно определенно приписывает закон инерции и параллелограмма сил Галилею. Но мы уже видели, что Галилей не рассматривал общего вопроса о сложении сил и, во всяком случае, закона параллелограмма сил не доказал. У Ньютона доказательство этого закона основано на 2-й аксиоме. Соответственно ей он принимает, что сила, действующая на тело по линии AC , не может изменять скорости, с которой тело под влиянием силы, действующей по линии AB , приближается к BD ; и так как это положение имеет силу и в обратном порядке, то тело должно пройти по диагонали AD . Ньютон ссылается, далее, на то, что приведенное сложение и разложение сил вполне подтверждается механикой. Ньютоновский вывод параллелограмма сил, в сущности, есть не что иное, как применение к специальному частному случаю его второй аксиомы движения. Следовательно, подобно Галилею, он считал эту теорему как бы готовым заданным основным положением механики, нуждающимся лишь в разъяснении на примерах. У Пьера Вариньона (профессор математики в Париже, 1564—1722), в его «*Projet d'une nouvelle mecanique*» (1687) параллелограмм сил выведен приблизительно так же, как и



Черт. 12.

224 ДВИЖЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СИЛ

у Ньютона, а именно, у него тело под влиянием одной силы движется по прямой линии, которая под влиянием второй силы, в свою очередь, перемещается параллельно своему первоначальному положению; а в посмертном большом сочинении «*Nouvelle mecanique*» (Париж, 1725) того же автора все простые машины объясняются при помощи параллелограмма сил; например, закон рычага доказан тем, что равнодействующая сил, действующих на рычаг и находящихся в равновесии, проходит через точку опоры рычага.

Введение заканчивается рассмотрением общих законов движения. Однако прежде чем перейти к специальной математической разработке вопросов о движении тел, Ньютон подготавливает орудие для исследования. Он еще не пользуется, по крайней мере, в начале книги, своей теорией флюксий, но развивает в *1-м отделе первой книги* синтетически-геометрический суррогат, *метод первых и последних отношений*, т. е. *метод предельных значений геометрических отношений*. Следует заметить, что если его флюксионное исчисление представляет вследствие неудобных обозначений трудности для применения, то это в еще большей мере относится к его геометрическому методу. Оттого-то понимание книги Ньютона и представляет трудности для математиков, привыкших к аналитическим методам. Однако дальше, во второй главе второй книги, Ньютон уже излагает элементы своей теории флюксий.

2-я глава первой книги начинается с определения центростремительных сил. Ньютон доказывает, прежде всего, в самом общем виде так называемый закон площадей; *тела, движущиеся по путям, радиусы которых направлены в неподвижную точку схождения всех сил, остаются неизменно и одной и той же плоскости и описывают в равные времена равные площади.* Затем доказывается обратный закон: *всякое тело, движущееся по кривой с радиусами, направленными в общую неподвижную точку, и описывающее вокруг последней площади, пропорциональные временам, движется под действием центростремительной силы, направленной в неподвижную центральную точку.* Затем следуют количественные определения центростремительной силы для различных путей и различного положения центра сил, например для круга и точки на окружности и для эллипса и его центра.

В *3-й главе* специально доказывается, что *при эллиптическом, или гиперболическом, или параболическом пути центральная сила, направленная в фокус, должна быть обратно пропорциональна квадрату радиус-вектора.* Как известно, движения по различным видам конических сечений различаются отношением скоростей. *Обратные положения Ньютон доказывает не в самом общем виде.* Правда, он ставит общую задачу — найти линию, описываемую телом, если дана исходная точка, скорость и направление движения и если величина центростремительной силы обратно пропорциональна квадрату расстояния точки от центра; но вслед за этим он тотчас же принимает, что *такими линиями будут конические сечения, и лишь определяет вид кривой по данной величине скорости и ее направлению.* Впрочем, небесной механикой ставился лишь вопрос первого рода; поэтому Ньютон поставленную им перед собой задачу по существу дела разрешил.

МАЯТНИК. ПРИТЯЖЕНИЕ ШАРООБРАЗНЫХ ТЕЛ 225

4-я и 5-я главы первой книги содержат чисто математические построения конических сечений по данным элементам; а в 6-й главе дано определение положения тела на его пути в заданные моменты времени. 7-я глава рассматривает прямолинейные движения тел по отвесной линии вверх и вниз под влиянием различных видов притягательных сил. 8-я глава сравнивает движения по кривой под действием любой центральной силы с движениями вверх и вниз по отвесной линии. 9-я глава трактует о наиболее важных для астрономии движениях тел по орбитам, которые в свою очередь движутся.

О качаниях маятника трактует 10-я глава. Здесь выведены все законы Гюйгенса, с определенным упоминанием его имени; изложено также начало теории пространственного маятника. До сих пор Ньютон рассматривал только движущиеся точки; начиная отсюда, речь будет идти также о физических телах, и будет приниматься в расчет их масса. 11-я глава рассматривает движения взаимно притягивающихся шарообразных тел. Два тела, притягивающихся обратно пропорционально квадрату их расстояния, описывают вокруг своего общего центра тяжести и друг около друга кривые конического сечения. Закон площадей приложим и к этим движениям, которые всегда можно истолковать так, как будто они производятся притяжением третьего тела, помещенного в общем центре тяжести. Затем следует подробный разбор движений трех и, наконец, многих взаимно притягивающихся тел. В 12-й главе Ньютон переходит к рассмотрению вопроса, как складывается притяжение шарообразного тела из притяжений его отдельных частиц. Принимая, что материальные частицы взаимно притягиваются пропорционально их величине и обратно пропорционально квадратам взаимных расстояний, Ньютон приходит к следующим положениям. Маленькое тело (физическая точка) внутри сферического слоя находится повсюду в равновесии; внутри массивного однородного шара оно притягивается к центру последнего силою, прямо пропорциональною расстоянию его от центра; если же маленькое тело находится вне шара, то оно притягивается к центру с силою, обратно пропорциональною квадрату расстояния его от центра; два однородных или два состоящих из однородных слоев шара взаимно притягиваются с силою, прямо пропорциональною произведению масс обоих шаров и обратно пропорциональною квадрату расстояния их центров. В 13-й главе изложены аналогичные рассуждения применительно к некоторым другим формам тела, например сфероидам.

В 14-й главе рассматривается преломление света в чрезвычайно отвлеченной форме. Допускается, что маленькие тела, переходя из одной среды в другую, проходят через промежуточный слой, ограниченный параллельными плоскостями и, не встречая в нем никаких препятствий к движению, притягиваются или отталкиваются второй средой. Затем следует положение, что синус угла прохождения по второй среде находится в постоянном отношении к синусу угла вступления в нее и что скорости при входе и выходе пропорциональны синусам соответствующих углов. Таким образом столь долго оспаривавшееся положение теории истечения, что скорость света в более плотных средах больше, чем в более редких, здесь вновь утверждается.

226 ДВИЖЕНИЕ В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

Говоря о преломлении света, Ньютон определенно упоминает Снеллия и Декарта. В пользу конечной скорости света он приводит наблюдение Ремера над спутниками Юпитера, а в защиту положения, что среда оказывает притяжение на частицы света, ссылается на наблюдения Гримальди в области дифракции, из которых, по мнению Ньютона, следует, что свет, проходя мимо непрозрачных тел, ими притягивается. Этим заканчивается первая книга. *Вторая начинается с движения тел в сопротивляющихся средах; в 1-й главе рассматривается движение в такой среде, где сопротивление пропорционально скорости. Ньютон находит, что тело, падая в подобной среде, не может достичь бесконечно большой скорости, а достигает лишь некоторой максимальной скорости*¹; при этом он дает правило для построения траектории в подобной среде. В заключение Ньютон, однако, отмечает, что подобные условия встречаются лишь в редких случаях, при крайне медленных движениях в очень плотных средах; в большинстве же случаев — в связи с тем, что большие скорости должны еще при этом передаваться сопротивляющейся среде в более короткие промежутки времени — *сопротивление должно быть пропорционально квадратам скоростей. Движению при подобных условиях посвящена 2-я глава второй книги. Исходя из предположения, что сопротивление среды прямо пропорционально ее плотности, Ньютон ставит вопрос о распределении плотностей в отдельных местах, при котором брошенное тело описывает данную кривую. Но обратную и наиболее важную задачу определения линии полета в равномерно сопротивляющейся среде Ньютон здесь не сумел разрешить: он ограничивается лишь замечанием, что эта кривая должна быть скорее гиперболической, чем параболической. 3-я глава посвящена движению в среде, которой сопротивление частью пропорционально первой степени скорости, частью квадрату ее. На этом исследование и заканчивается, хотя здесь можно было бы сделать еще много различных других предположений. Ньютон имел в виду лишь открыть доступ в эту область. 4-я глава, правда, рассматривает еще круговое движение в средах, которых плотность в отдельных местах изменяется по определенным законам. В 5-й главе излагается гидростатика. «Жидкость — это всякое тело, части которого уступают действию любой силы и, уступая, легко передвигаются друг относительно друга». Следующие затем рассуждения о несжимаемых жидкостях не представляют ничего нового; но в разделе об упругих жидкостях доказывается одно очень важное для барометрического измерения высот положение: если плотность жидкости пропорциональна испытываемому ею давлению и частицы ее притягиваются вниз тяжестью, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра, то на расстояниях, представляющих гармоническую прогрессию, плотности жидкости будут представлять геометрическую прогрессию. В виде прибавления, далее, указывается: если тяжесть считать неизменной, то на расстояниях, возрастающих в арифметической прогрессии, плотности*

¹ Декарт («Lettres», t. III, p. 105) уже утверждал, что скорость тела, падающего в сопротивляющейся среде, приближается мало-помалу к определенному пределу; Гюйгенс называет эту скорость предельной (vitesse terminale).

будут увеличиваться в геометрической прогрессии. Открытие последнего закона, вытекающего непосредственно из исследований Мариотта, приписывается здесь Галлею. В заключение этой главы Ньютон касается причин упругости. Если плотность жидкости возрастает пропорционально сжимающей силе и жидкость состоит из частиц, *стремящихся* удалиться друг от друга, то отталкивательная сила должна возрастать обратно пропорционально расстояниям между ними. При этом Ньютон осторожно замечает, что он вовсе не имеет в виду приписывать частицам упругих жидкостей свойство взаимного отталкивания — *в действительности решение этого вопроса есть дело физиков, он же лишь хотел дать последним повод заняться исследованием этого вопроса.* В 6-й главе вновь идет речь главным образом о движениях маятника, но здесь преимущественно уделяется внимание сопротивлению, оказываемому этим движениям со стороны среды. Сначала доказывается, что *количество материи (масса) маятника прямо пропорционально весу и квадрату продолжительности одного качания (в пустоте) и обратно пропорционально длине маятника;* в связи с этим отмечается, что *посредством маятника можно измерять разницу в весе одного и того же тела в различных местах земной поверхности и таким образом определять изменение силы тяжести.* Затем рассматриваются движения кругового и циклоидального маятника в сопротивляющихся средах. Изложенные законы Ньютон предлагает применять с обратной целью — *пользоваться маятником как средством для определения сопротивления различных сред.* Со своей стороны Ньютон приводит множество опытов касательно сопротивления воздуха, воды и пр., показывая постоянно, что *сопротивление пропорционально плотности жидкости.* В 7-й главе рассматриваются различные сопротивления при движении в жидкостях тел разной формы, например, шара, конуса, цилиндра и т. д.; вместе с тем и обратно определяются сопротивления, представляемые такими телами движущейся жидкости ¹. Там же приводится много опытов, касающихся замедления падающих тел, производимого сопротивлением воздуха, и полученные результаты сравниваются с теорией. Рассматривая скорость истечения жидкостей через отверстия в дне сосудов, Ньютон первый заметил *сжатие водяной струи у отверстия* и связанное с этим уменьшение количества вытекающей жидкости. Это явление он объясняет боковыми скоростями частичек, устремляющихся со всех сторон к отверстию. Любопытно, что здесь он упоминает Галилея как автора закона падения и ни слова не говорит о Торичелли, открывшем закон скорости истечения жидкостей. В 8-й главе второй книги излагаются *математические основы акустики.* Всякое колеблющееся тело распространяет в упругой среде движение своих толчков во всех направлениях по прямым линиям, при этом отдельные частицы среды движутся то вперед, то назад, ускоряясь и замедляясь, наподобие качающегося маятника. Поэтому, если представить себе жидкость сжатой, подобно нашей атмосфере, каким-нибудь грузом

¹ Эти столь важные для мореплавания исследования были затем продолжены Як. Бернулли (Acta Erud. 1693), Иог. Бернулли (Nouvelle theorie de la manoeuvre) и Германном (Phoronomia).

228 СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН

и обозначить через A высоту однородной среды, вес которой был бы равен весу давящего груза, а плотность равнялась бы плотности той жидкости, в которой распространяются толчки, тогда последние распространялись бы за то самое время, за какое маятник длиною в A совершает полное качание, на длину окружности круга с радиусом A . Но высота A прямо пропорциональна упругости жидкости и обратно пропорциональна плотности последней; следовательно, *скорость распространения волн в упругой среде прямо пропорциональна квадратному корню из силы упругости и обратно пропорциональна квадратному корню из плотности среды*; при этом предполагается, что сила упругости возрастает в одинаковой мере с плотностью.

Это правило показывает, что скорость распространения волн зависит только от упругости и плотности среды, но не зависит от скорости колебаний или от длины волн. *Последние исследования Ньютон определенно относит к движению звука и света, но дает лишь несколько применений к теории звука.* Отметив, что *скорость звука изменяется с температурой среды* и летом, например, должна быть больше, чем зимой, он пытается вывести скорость звука непосредственно из своей формулы. Удельный вес ртути равен почти $13\frac{2}{3}$, а удельный вес воздуха $\frac{1}{870}$; следовательно, ртуть в 11 890 раз тяжелее воздуха. На этом основании при барометрической высоте в 30 дюймов высота воздушного слоя, плотность и вес которого соответствовали бы плотности и весу воздуха у земной поверхности, должна была бы составить 29 725 футов, и, следовательно, такую величину следует взять для упомянутой выше длины A . Маятник подобной длины совершает одно качание в $190\frac{3}{4}$ сек.; окружность круга с радиусом A равна 186 768 футам; на эту длину, значит, распространяется звук в течение $190\frac{3}{4}$ сек.; следовательно, *скорость распространения звука равна 979 футам в секунду*. Ньютону, конечно, известно расхождение этого результата с числами, полученными прямым наблюдением, и в последующих изданиях своих «Начал» он приводит в качестве правильных данных для скорости распространения звука 1070 парижских или 1142 английских футов, объясняя отклонение собственных чисел не принятой в расчет величиной воздушных частичек или содержанием в воздухе водяных паров. Его объяснение, однако, не было признано удовлетворительным, и формула Ньютона долгое время считалась неверной. *Только новейшие физики подтвердили ее правильность, показав, что эта формула требует лишь поправки, так как вызываемое колебаниями уплотнение воздуха порождает теплоту, изменяющую упругость воздуха.*

9-я, последняя глава второй книги рассматривает вихреобразные движения преимущественно с целью «убедиться, можно ли с помощью вихрей объяснить небесные явления». Ньютон находит, что когда шар вращается в какой-либо среде около постоянной оси и только этим приводит в движение частицы окружающей среды, то периоды оборотов частиц находятся в квадратном отношении к их расстояниям от центра. Но это движение, в приложении к планетам, противоречит третьему кеплеровскому закону, и отсюда Ньютон выводит полную неприемлемость декартовской теории вихрей. При этом он,

однако, оставляет без внимания ряд вспомогательных гипотез Декарта, и в особенности ту, согласно которой всякая планета, бывшая некогда центральным телом, вступает в центральный вихрь с некоторою собственною скоростью и, во всяком случае следует уже за вихрем сообразно своей массе с видоизмененною скоростью. Вообще, *по-видимому, Ньютон и его ученики не очень углублялись в изучение работ Декарта, иначе они, конечно, заметили бы, что хотя картезианская система и была совершенно недостаточна для объяснения явлений, но доказать ее несостоятельность было не так легко, как это им казалось.*

В третьей книге своего сочинения Ньютон переходит, наконец, к применению своих механических теорий — к *мировой системе*. Так как в этой части интересы физики отступают на задний план, то мы приведем здесь лишь некоторые из положений, а именно те, которые представляют интерес для физики. Книга начинается с изложения четырех общих правил для исследования природы:

1) Не допускать для объяснения естественных явлений никаких других причин сверх тех, которые являются истинными и достаточными для объяснения. 2) Поэтому приписывать, насколько возможно, однородным действиям одни и те же причины. 3) Свойства тел, которых нельзя ни усилить, ни ослабить, и которые присущи всем телам, способным быть объектами опыта, следует считать свойствами всех тел вообще. Здесь мы встречаемся с основным пунктом ньютоновских воззрений. В качестве общих свойств всех тел он принимает: протяженность, непроницаемость, твердость, инерцию и подвижность. Далее, он указывает, что все тела близ Земли тяготеют к последней, Луна тяготеет к Земле, а море — к Луне, планеты и кометы тяготеют к Солнцу; стало быть, существование тяготения как общего свойства материи доказано, в сущности, лучше, чем, например, непроницаемость, которую нельзя доказать для небесных светил каким-либо опытом или наблюдением. Тем не менее, он не склонен утверждать, что тяготение присуще телам по существу, т. е. присуще материи как некое общее её свойство. *4) Законы, полученные в опытной физике с помощью индукции, если не существует противоположных законов, следует считать точными или почти верными до тех пор, пока новые явления не придадут им большей надежности или же не укажут на наличие исключений. «Это необходимо для того, чтобы аргументы индукции не опровергались гипотезами»¹.*

Последнее, очевидно, направлено против Декарта и натурфилософов, не желавших признавать непосредственного действия силы на расстоянии в силу его непостижимости. Ньютон показал для спутников Юпитера, Луны, Земли и планет, что притягательные силы, проявляющиеся в движении этих небесных тел, тождественны с земною тяжестью. Отсюда он делает вывод, что все тела и все материальные частицы тяготеют друг к другу пропорционально количеству заключающейся в них материи и обратно про-

¹ Ньютон часто цитирует в своих «Началах» прежних физиков, например, имя Галилея упоминается во многих местах; имени Бэкона я у него нигде не встречал, но влияние Бэкона, тем не менее, сказывается в методически-философских замечаниях вроде приведенного.

порционально квадрату расстояния. За последнее говорит движение небесных тел, а в пользу первого Ньютон приводит тот опытный факт, что тяжесть не зависит от формы тел. Если же тяжесть обуславливается одним количеством материи, то *нет тел без тяжести* (следовательно, *нет ничего невесомого*); различный вес веществ может зависеть только от количества заключающихся в них пор или от степени разрежения материи; но в таком случае, отчего не допустить, что разрежение может дойти до нуля, т. е. отчего не признать существования пустого пространства¹. Своею зависимостью от количества материи тяжесть отличается от магнитной или электрической силы, потому что последние можно увеличивать и уменьшать в одном и том же теле, не изменяя в нем количества вещества. Вследствие вращения Земли сила тяжести не во всех местах одинакова; под экватором она уменьшается всего сильнее от действия центробежной силы; *по этой причине Земля у полюсов должна быть сжата* (подобно Юпитеру, имеющему сплюснутую форму); если бы этого не было, то моря у полюсов должны бы были снизиться, а под экватором повыситься и затопить сушу. Как опытные доказательства в пользу сжатия Земли, Ньютон приводит наблюдения *Рише* в Кайенне и затем наблюдения *Варена и Дезе*, получивших в 1682 г. длину секундного маятника на Парижской обсерватории, равной 3 футам $8\frac{5}{9}$ линиям, а на Гваделупе и Мартинике 3 футам $6\frac{1}{2}$ линиям. *Утверждение Ньютона о сжатии Земли несмотря на приведенные доводы не встретило одобрения со стороны ученых*; особенно сильно восставали против него члены Парижской академии. Они продолжали объяснять необходимость укорачивать маятник в теплых странах удлинением его стержня под влиянием теплоты, и хотя Ньютон показал, что этого рода удлинение слишком ничтожно, чтобы объяснить необходимое укорочение, но академики долго еще оставались при своем мнении. Этот вопрос вызвал национальную войну на научной почве между англичанами и французами, побудив последних предпринять градусные измерения в большем масштабе, и только благодаря этим измерениям вопрос позднее получил окончательное решение.

На основании своей теории притяжения Ньютон вычислил *высоты морских приливов, неправильности лунных движений, предварение равноденствий* и, наконец, *движение комет*. Из движения последних он заключил, что кометы представляют собою тела, подобные планетам, движутся по одним с ними законам и при своем движении не встречают в небесных пространствах никаких сопротивлений.

В заключение Ньютон приводит кометы как аргумент против теории вихрей, указывая, что многообразные движения их не только не могут быть объяснены действием солнечного вихря, но прямо противоречат такого рода движениям. Затем он отмечает, что планомерное единство, доказываемое его теорией притяжения во всей вселенной, вполне согласуется с представлением о верховном существе, о властителе и управителе всего мира, и, наконец, высказывает еще одну

¹ Ньютон повсюду является атомистом, хотя и не определяет точно понятия атома.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ НЬЮТОНА НА ПРИЧИНУ ТЯЖЕСТИ 231

мысль, которая из всей его системы встретила наименьшее признание со стороны современников. *«До сих пор я объяснял явления небесных тел и движение океана силой тяжести, но нигде я не указывал на причину последней. Эта сила происходит от какой-то причины, проникающей без какого-либо ослабления своей мощи (virtutis) до самого центра солнца и планет. Она действует не соразмерно количеству поверхностей частиц, на которые направлено ее действие (как в механических причинах), а соразмерно количеству твердой материи, и действие ее распространяется во все стороны на неизмеримые расстояния».* «Мне еще не удалось вывести из явлений основу этих свойств тяжести, а ГИПОТЕЗ Я ПРИДУМЫВАТЬ НЕ ХОЧУ». «Достаточно того, что тяжесть существует, что она действует согласно описанным нами законам и что она, в состоянии объяснить все движения небесных тел и океана».

В самом деле, именно здесь лежал узел всех трудностей, которые представляла для современников новая теория. Мир физиков уже привык к тому, чтобы выбрасывать из науки все то, что не обладало достаточной наглядностью. Благодаря Аристотелю и его последователям учение об естественных свойствах тел было сильно дискредитировано. Ученые мало-помалу пришли к убеждению, что движение науки сильно затрудняется, если всякое явление, которого нельзя свести на другие явления, считать следствием естественных свойств данного вещества, его законною особенностью, и этим ограничивать дальнейшее исследование.

Вековой застой механики после Аристотеля достаточно убедил всех, что нельзя уйти далеко, если ограничиваться объяснениями вроде того, что для такого-то тела естественно подниматься, для другого — падать, для третьего — двигаться по кругу. Теперь, когда все естественные свойства материи были сведены на два, протяженность и инерцию, а действия сил получили максимально наглядное объяснение при помощи непосредственных толчков частиц, после того как, наконец, удалось выбраться в области физики на сравнительно чистый воздух, — вдруг появляется теория Ньютона, приписывающая материи свойство, столь же необъяснимое и, пожалуй, даже еще более загадочное, чем приписывавшиеся ей раньше свойства. Солнце, удаленное от Земли на миллионы миль, должно притягивать ее к себе без какого-либо посредства, без всякого контакта; всякая частичка материи должна стремиться к другой, наподобие живого существа, не имея для этого никаких органов! Такая мысль казалась вредным шагом назад к «скрытым качествам» перипатетиков, сознательным поворотом к прежнему мраку. Нельзя не согласиться, что, по крайней мере, картезианцы с их точки зрения имели право смотреть на дело именно таким образом. *Всякий, кто стоит на единственно правильной философской точке зрения постигаемости мира (хотя бы только в идеале), должен протестовать против допущения силы, действие которой должно навеки остаться для нас непостижимым.* Ньютон сознавал неловкое положение своей системы при таком освещении и старался всеми силами отстоять ее основную мысль, с одной стороны, сужая пределы толкования, с другой — доказывая, что новая теория вовсе не требует от своих привер-

232 ПРОТИВНИКИ ВСЕОБЩЕГО ПРИТЯЖЕНИЯ

женцев веры в чудеса. Он четко определяет силу только как *причину, приводящую к тому, что тело притягивается или толкается к точке или стремится прийти в нее; он не ставит себе целью объяснить, что такое эта сила, он не утверждает, что она является последним свойством материи, и не отрицает того, что в основе видимого притяжения материи лежит, может быть, какая-нибудь вполне наглядная причина;*

выражение «сила» применяется им единственно для краткого обозначения неизвестной причины известного действия. Его, как математика, интересует только действие и математическое обоснование количественной стороны явлений; то же, что составляет неизвестную причину, *causa gravitatis*, он оставляет в стороне, так как он не желает строить гипотез. Вообще во всей своей книге Ньютон твердо стоит на почве чисто математической, занимаясь математическим выводом законов количественных отношений из наблюдений. Во многих местах он заходит в этом отношении так далеко, что даже сам не разрешает вопроса о том, соответствуют ли его исходные положения действительности и имеют ли полученные им (математическим путем) выводы реальное значение, предоставляя проверку того и другого физикам.

Несмотря на все это, точка зрения Ньютона не была правильно усвоена его противниками и не была сохранена в неприкосновенности его друзьями и учениками; впрочем, и в том и другом отчасти был виноват сам Ньютон.

Главными противниками Ньютона были, как сказано, картезианцы. Объяснения своего учителя касательно движения планет и устройства вселенной они считали вполне удовлетворительными. Правда, учитель не вывел из своих многочисленных гипотез ни одного количественного закона, который послужил бы наилучшим средством для проверки системы; но между его учениками было мало математиков и астрономов, поэтому большинство довольствовалось тем, что объяснение казалось удобопонятным, и не придавало значения точным математическим количественным определениям. Вместо того чтобы признать все бесспорно доказанное Ньютоном, хотя бы тот факт, что небесные явления происходят именно так, как если бы тела стремились друг к другу в прямом отношении к их массам и в обратном к квадратам их расстояния; вместо того чтобы с благодарностью принять новые научные открытия и со своей стороны попытаться объяснить их вихревой теорией своего учителя Декарта, они просто отвергли все положения Ньютона и тем разделили обе системы непроходимой пропастью, сделавшей неизбежным полное уничтожение той или другой теории.

В таком обострении разногласий *ученики и приверженцы Ньютона* были, впрочем, столь же виноваты, как и картезианцы. Сам учитель Ньютон был настолько осторожен, что ограничивал свои высказывания узкими рамками и оставлял совершенно открытым философский вопрос о причине тяготения. Друзья же его не проявили этой осторожной половинчатости; они считали долгом чести восполнить то, что осталось недоказанным со стороны их учителя. Они-то и выдали гипотезу непосредственного действия на расстоянии за полное реше-

ние задачи и, не колеблясь, причислили тяжесть к общим свойствам материи. Роджер Котес (1682—1716 г., с 1706 г. профессор математики и физики в Кембридже), занявшийся по поручению Ньютона вторым изданием его «Начал» (1713), высказывается по этому вопросу с особенной резкостью. В своем предисловии к сочинению он *прямо объявляет действие тел на расстоянии, actio in distans, общим свойством материи, не допускающим дальнейшего объяснения именно потому, что оно не является действием какой-нибудь другой причины, а само является первичной причиной, непосредственно вложенной в материю творцом*. «Неужели следует тяжесть называть скрытой причиной и изгонять ее из области естествоведения только потому, что причина ее еще не открыта? Пусть те, которые высказывают подобные мнения, обратят внимание, не заключается ли в их словах нелепости, способной подорвать самые основы физики. Путем сплетения причин мы, правда, постоянно нисходим от более сложного к более простому, но, придя к наипростейшей причине, мы дальше идти не можем. Она уже не поддается дальнейшим механическим объяснениям, в противном случае это не будет наипростейшая причина». По мнению Котеса, *тяжесть и есть такая наипростейшая причина*; попытки к ее дальнейшему разъяснению он считает антирелигиозными, потому что они предполагают или совершенное отстранение творца, или намерение вполне постичь его. «Кто считает себя в состоянии найти начала и законы естественного порядка вещей, опираясь только на силу своего ума и на внутренний свет своего разума, тот должен либо считать мир происшедшим из необходимости и выводить мировые законы из этой необходимости, либо же признавать мир возникшим по воле творца, но, тем не менее, себя, несчастного маленького человека, считать способным видеть, как можно было бы все устроить наилучшим образом». «Эти начала (установленные Ньютоном и Котесом) не станут менее достоверными оттого, что они не встретят благосклонного приема со стороны некоторых людей. Для последних они будут не нравящимися им чудесами и скрытыми свойствами; но зlostные клички не следует переносить на самые вещи, иначе пришлось бы прямо заявить, что в основание естествознания должен быть положен атеизм». Хотя не все последователи Ньютона заходили в споре так далеко, чтобы объявлять безбожником всякого доискивающегося причины тяготения, тем не менее, эта проблема вскоре сделалась для всей ньютоновской школы запретным натурфилософским вопросом. Со стороны учеников, при их преклонении перед Ньютоном, было, конечно, естественно увлекаться в споре и считать теорию учителя вполне законченной; не менее понятно с их стороны и желание совершенно устранить из физики щекотливый вопрос о причине тяжести. *Но самому учителю не следовало бы давать вовлечь себя в крайности, ему следовало бы сохранить принятое им однажды правильное положение, чего он, к сожалению, не сделал*.

Ньютон озаглавил свое сочинение «Началами натурфилософии», и следует признать, что при его великих способностях он был в состоянии дойти до тех пределов познания вещей, какие только доступны

234 ОТНОШЕНИЕ САМОГО НЬЮТОНА

человеку. Для физики исследования Ньютона имеют громадное *общее значение*. Он первый сформулировал *общие основные законы движения*, которые хотя многократно и применялись до него, но никем не были высказаны во всей их общности. Своими определениями *абсолютной, ускоряющей и движущей силы, абсолютного и относительного движения* и своими законами движения он создал твердые основы для механики. Четким отграничением математических выводов от гипотетических основ дедукции он обеспечил за результатами точные критерии их правильности. Как экспериментатор, он проявил тоже большие способности и *был всегда склонен проверять свои результаты наблюдениями*. Словом, *Ньютон является совершенным физиком, способным обнимать в одинаковой мере и философскую, и математическую, и эмпирическую сторону явления*. Но *нельзя не признать, что он пользовался своими способностями не в одинаковой мере*. Работы Ньютона носят преимущественно математический характер; и сам он, отражая действительные или возможные нападки, постоянно напоминает, что он, как математик, защищает лишь непрерываемость своих математических выводов, допуская их совместимость с противоположными физическими теориями.

Подобно тому, как в теории истечения и волновой теории света, так и в вопросе о посредственном и непосредственном действии на расстоянии, он старался занять среднее положение. Как в оптике он условно касается объяснения оптических явлений, исходя из волновой теории света, так и в учении о тяготении он упоминает о возможности объяснения тяжести толчками распространенной повсюду эфирной жидкости. В одном месте, в связи с вопросом о действии этого эфира, он *открывает даже такие перспективы, смелее которых и теперь выдумать ничего нельзя*. Во 2-й главе первой книги своих «Начал» он говорит аналогично тому, как и при определении центростремительной силы ¹: «На этом основании я продолжаю объяснять движение взаимно притягивающихся тел тем, что смотрю на центростремительные силы, как на притяжения, хотя последние, выражаясь языком физики, может быть, было бы правильнее называть ударами. Но мы находимся в области математики и потому, дабы не вдаваться в физические споры, пользуемся привычными для нас выражениями». «Под словом притяжение я разумею вообще стремление тел сблизиться, все равно, является ли оно результатом самопроизвольного стремления тел друг к другу или действия каких-либо духов, или действия эфира, воздуха или какой-либо иной среды, телесной или бестелесной, каким-либо образом направляющей друг к другу плавающие в ней тела». В конце третьей книги он идет еще гораздо дальше: «Здесь было бы уместно сказать что-нибудь о духовной субстанции, проникающей во все твердые тела и содержащейся в них. Силой и деятельностью этой духовной субстанции частицы тел взаимно притягиваются на малейших расстояниях и, соприкасаясь, держатся вместе. Под ее же влиянием электрические тела действуют на огромных расстояниях, притягивая и отталкивая ближайшие к ним частицы. Посредством той же духовной субстанции

¹ См. стр. 22—23.

свет излучается, отражается, отклоняется, преломляется и нагревает тела. Все чувства возбуждаются и члены животных приводятся произвольно в движение ее же колебаниями; последние распространяются от внешних органов чувств при посредстве твердых нервных нитей до головного мозга, а отсюда передаются до самых мышц. Однако подобные вопросы не могут быть объяснены немногими словами; к тому же у нас нет еще достаточного количества опытов для точного установления и доказательства закона, согласно которому действует всеобщая духовная субстанция».

В известных уже нам вопросах, приложенных к оптике, Ньютон тоже возвращается к теории эфира. «Не более ли тонка эта среда в плотных телах солнца, звезд, планет и комет, чем в пустых небесных пространствах между светилами; и по мере перехода в отдельные пространства, не уплотняется ли она постепенно и не является ли это *причиной взаимного тяготения тел и тяготения частей последних друг к другу* вследствие того, что все они стремятся перейти из более плотных областей в менее плотные? И хотя нарастание плотности на больших расстояниях может быть чрезвычайно медленным, тем не менее, упругость среды может быть достаточной для того, чтобы толкать тело от более плотных областей к менее плотным со всей той силой, которую мы называем тяготением. О необычайной силе упругости среды можно судить по скорости ее колебаний. Звук пробегает около 1140 футов в секунду и около 100 английских миль в 7—8 минут. Свет доходит от солнца к нам в 7 или 8 минут, пробегая за это время 70 000 000 английских миль, если предположить солнечный параллакс приблизительно равным 12 дюймам. Для того, однако, чтобы колебания этой среды могли обуславливать приступы легчайшего прохождения или отражения, они должны быть быстрее самого света и, следовательно, по крайней мере, в 700 000 раз скорее звука. В таком случае отношение упругости среды к ее плотности должно быть в $700\,000^2 = 490\,000\,000\,000$ раз больше отношения упругости воздуха к его плотности». Таким образом эфир можно принять за материю еще гораздо более тонкую, чем световая, и вместе с тем обладающую гораздо большею упругостью по отношению к плотности; при таких условиях эфир оказывал бы бесконечно малое сопротивление движениям небесных тел и, тем не менее был бы способен толкать тела друг к другу ¹. «Если бы кто-либо захотел спросить меня, как может среда быть до такой степени тонкой, пусть он скажет мне, как это возможно, чтобы атмосфера в высших слоях была в 1000 и в 100 000 раз легче золота, и каким образом можно путем трения извлечь из электрических тел истечения, настолько тонкие и легкие (и вместе с тем сильные по действию), что в весе тел не происходит заметных изменений; или как может быть магнитная материя настолько тонкой и легкой, чтобы проходить сквозь стеклянную пластинку без сопротивления и уменьшения ее силы, и вместе с тем настолько мощной, чтобы поворачивать магнитную стрелку сквозь стекло ².

¹ *Newton, Optice, lat. redd. S. Clarke, quaestio XXI.*

² *Newton, Optice, quaestio XXII.*

Невзирая, однако, на все эти указания Ньютона о возможности более глубокой причины тяжести; невзирая на то, что он почти защищает эфир как *causa gravitatis*, он ничего не сделал для окончательного решения столь важного вопроса. Мало того, он допускал со стороны своих учеников прямое противоречие мнениям, высказанным им самим по этому предмету. Так, например, в «Началах» Ньютон сам почти отвергает возможность непосредственного действия на расстоянии, всякое *actio in distans*; а в предисловии ко второму изданию его ученик Котес объявляет самое искание такой причины или посредствующего агента при действии на расстоянии признаком атеизма. Отсюда получается впечатление как будто с летами Ньютон стал одностороннее и резче. Если в первое время он только уклонялся от занятия какой-либо определенной позиции в соответствующих вопросах, то на старости он просто остановился на наиболее удобной гипотезе; и если сам он не отказался от своего прежнего нейтрального положения, то позволил ученикам открыть под его знаменем борьбу против физиков и философов, которые не соглашались с мнением, принятым им без достаточной проверки. Таким образом *Ньютон пассивно, через своих последователей, стал основателем теории истечения света и действия на расстоянии, несмотря на то, что в своих сочинениях он отказался высказаться решительно в пользу той или другой гипотезы*. С какой бы стороны мы ни посмотрели на это дело, нельзя отрицать, что подобное отношение было недостойно такого гениального человека, каким был Ньютон ¹.

Трудно решить, зависело ли это своеобразное отношение единственно от характера Ньютона, или же оно было также вызвано нападками на него. Во всяком случае, оно не облегчило и не ускорило победы защищаемого им дела. *Всего упорнее придерживались авторитета своего соотечественника Декарта французы*; но и в Англии последний имел не малое число приверженцев, особенно среди преподавателей физики. Во Франции и Англии самым распространенным руководством был «*Traité de physique*», составленный французом Рого (1671) на основе воззрений Декарта. И только в 1697 г., когда С. Кларк, вместо плохого английского перевода этого сочинения дал хороший латинский, прибавив в сносках изложение воззрений Ньютона, положение вещей постепенно изменилось в пользу последнего, и кафедры физики стали замещаться его учениками и последователями. *Отсюда произошел разлад между физиками Франции и Англии, длившийся довольно долго*. Вольтер, посетивший Англию в 1727 г., писал по этому поводу: «В Париже вселенную видят наполненной эфирными вихрями; здесь же в том же мировом пространстве ведут свою игру невидимые силы. В Париже приливы и отливы морей вызываются давлением луны;

¹ Цельнер («*Principien einer elektro-dyn. Theorie*», Leipz. 1876, т. I, стр. XXIV—LXIII) полагает, что Ньютон к старости изменил свои взгляды и что Котес изложил указанные выше положения по его прямому поручению. В таком случае непонятно, почему Ньютон сам не изменил противоречащих этому мест своих «Начал», тем более, что во многих других местах им были сделаны исправления при этом втором издании.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕОРИЙ НЬЮТОНА 237

в Англии, напротив, моря тяготеют к луне; так что в то самое время, как парижане ждут от луны высокого стояния воды, граждане Лондона ожидают отлива». «У вас, картезианцев, все происходит вследствие давления, чего мы, простые смертные, не можем взять хорошенько в толк; у ньютонианцев, напротив, все вызывается тягой, что столь же непонятно. Наконец, в Париже землю изображают удлинённой у полюсов, подобно яйцу, в Лондоне же, напротив, земля уплощена, как дыня». В Англии сторонниками Ньютона сделались самые выдающиеся ученые: Рен, Галлей, оба Грегори, Котес, Кейль; вне Англии его противниками были такие великие физики, как Гюйгенс, Бернулли и др. В 1736 г. *Мопертюи* во Франции написал первый трактат в благоприятном для Ньютона духе, но еще *Фонтенель* в 1756 г. умер убежденным картезианцем. Впрочем, с другой стороны, стало проявляться и стремление распространить новое учение в самых широких кругах; так, в 1739 г. появилась книга: *Newton's Philosophy, explained for the use of ladies from the Italian of Algarotti* (2 vol.).

Ньютоновские «*Начала*» еще при жизни автора успели выйти в трех изданиях; второе (1713 г.) подготавливал, как уже было указано, Котес, третье (1726) — Пембертон. После того «*Начала*» вышли на английском языке в 1729 г. и 1802 г., на французском — в 1759 г. (переводчицей была маркиза *дю-Шатле*, друг Вольтера) и в 1872 г. — в немецком переводе *Вольферса* ¹. Несмотря на такое широкое распространение, это сочинение влияло не столько прямо, сколько благодаря работе популяризаторов, приближавших его к общему уровню знаний. Отвлеченно математическая постановка проблем и геометрически-синтетический способ их решения делали эту книгу недоступной для большинства; кроме того, такая форма изложения не только затрудняла понимание текста, но и была мало приспособлена для облегчения дальнейшего прогресса науки, для дальнейшего ее развития силами новых физиков. Непосредственные ученики Ньютона, настаивавшие на употреблении ньютоновского метода и его исчисления флюксий в том самом виде, как они были выработаны их творцом, утратили мало-помалу руководящее значение в математической физике и в самой математике. Французы и немцы, продолжавшие разработку дифференциального исчисления Лейбница, стали во главе нового движения математической науки, а вместе с тем и ньютоновских теорий.

На *частной жизни* Ньютона выход в свет его великого творения в первое время очень мало отразился. Еще в 1699 г. он тщетно хлопотал об увеличении содержания. «Вижу, что мое дело — сидеть смирно», писал он около этого времени своему другу, философу Локку. Поворот к лучшему начался с 1695 г., когда он получил через посредство своего ученика и почитателя, лорда Монтегю, хорошо оплачиваемое место хранителя монетного двора, а в 1699 г. место директора этого же учреждения, связанное с блестящим содержанием. В 1703 г. Ньютон отказался от кембриджской кафедры в пользу Вильяма

¹ «Sir Isaac Newton's Principien der Naturlehre», herausgegeben von Prof. Dr. J. Th. Wolfers, Berlin, 1872. Русский перевод академика А. Крылова вышел в 1913 г. (*Прим. ред.*).

238 ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА ГЮЙГЕНСА

Уиттона и с тех пор жил большею частью в Лондоне или Кенсингтоне. Внешние знаки отличия начали сыпаться на него с разных сторон; он был избран членом парламента; Королевское общество начиная с 1703 г. ежегодно избирало его своим президентом, а королева Анна возвела его в звание кавалера. Из научных работ за «Началами» не последовало ничего капитального; однако Ньютон до конца жизни принимал деятельное участие в работах Королевского общества. С 1722 г. Ньютон начал сильно страдать подагрой, ревматизмом и каменной болезнью, но еще за месяц до своей смерти он председательствовал в обществе. Он умер 21 марта 1727 г. и был погребен в Вестминстерском аббатстве с большими почестями. Поэт Попе сочинил для него следующую надгробную надпись: Nature and Naturés laws lay hid in night; God said: «Let Newton be», and all was light»¹ Подобно многим крупнейшим ученым того времени, Ньютон не был женат. Домашним хозяйством его до конца жизни заведовала племянница. В последние годы Ньютон (как и Бойль) занимался теологическими вопросами. В 1736 г. появилось в посмертном издании его сочинение о пророке Данииле и толкование Апокалипсиса — произведения, которых было бы лучше не предавать гласности.

Последствия странного поведения Ньютона, считавшего возможным лично пользоваться научной теорией, не высказываясь определенно ни в пользу этой теории, ни в пользу теории ей противоположной, отразились всего тяжелее на Гюйгенсе и его волновой теории света. Против старого воззрения об истечении мельчайших частиц из светящегося тела давно уже слышались возражения. Гримальди в нерешительной форме, а Гук в более определенной заявили, что свет происходит от колебательного движения бесконечно тонкой и легкой среды эфира и распространяется волнообразно наподобие звука. В 1678 г. Гюйгенс прочел перед Парижской академией мемуар, в котором он не только утверждал, но и доказывал, что только последнее воззрение на природу света может быть правильным. Так как, однако, ему пришлось покинуть Париж в 1681 г., то печатание его мемуара затянулось, и последний вышел только в 1690 г. под заглавием: «Traite de la lumiere, ou sont expliquees les causes de ce qui arrive dans la reflexion et dans la refraction et particulièrement dans l'etrange refraction du Cristal d'Islande avec un discours de la cause de la pesanteur» (Лейден, 1690). *В этом сочинении содержится полное изложение волновой теории света, тождественной с принятой в наше время, за исключением одного существенного пункта.*

Гюйгенс предполагает существование тончайшей, в высшей степени подвижной, разлитой по всей вселенной материи, эфира. Если в каком-либо месте частица эфира приходит в колебание, движение это сообщается всем соседним частицам, и в пространстве пробегает эфирная волна, имеющая первую колеблющуюся частицу своим центром. Когда такая волна на своем пути встречает наш глаз, мы получаем ощущение

¹ «Природа и ее законы лежали скрытыми во тьме; бог сказал: «Да будет Ньютон,— и появился свет».

света. Гюйгенс не находит ничего необыкновенного в предположении подобной эфирной среды, так как свет распространяется и в безвоздушном пространстве; он полагает, что поразительную скорость распространения света гораздо легче объяснить таким волнообразным движением, чем гипотезой материи, передающей с подобной скоростью не движения, а отдельные весомые частицы. Далее он показывает, каким образом световые волны при встрече с непрозрачными средами отражаются под равными углами, и, наконец, каким образом при переходе из одной среды в другую направление этих волн должно изменяться согласно законам преломления. При помощи волновой теории Гюйгенс объясняет отражение и преломление света по меньшей мере, столь же хорошо, как Ньютон с точки зрения своей теории истечения; но только ему пришлось сделать противоположное предположение об изменении скорости света при переходе света из одной среды в другую. *В то время как Ньютон полагал, что скорость распространения света в различных средах обратно пропорциональна синусам отклонений от перпендикуляра, Гюйгенс должен был принять ее прямо пропорциональной.* К сожалению, это разногласие не давало пока возможности убедиться в преимуществе той или другой гипотезы, так как скорость распространения света в различных средах тогда еще не могла быть измерена. Зато из других источников стали известны иные наблюдения, которые могли быть объяснены только с помощью волновой теории.

Эразм Бартолин (1625—1698 г., профессор математики и медицины при Копенгагенском университете) открыл, что, если смотреть сквозь большие прозрачные куски *исландского известкового шпата*, то предметы кажутся двойными, и что, следовательно, *всякий световой луч, выходящий из какой-либо точки предмета, делится в кристалле на два луча.* Рассматривая затем предметы под различными углами, и определяя показатели преломления, он для одного из лучей нашел показатель, соответствующий закону преломления, а именно равный $\frac{5}{3}$, для другого же луча не мог установить никакого правила¹. Это-то явление начал изучать Гюйгенс и открыл его закон при помощи волновой теории света. Исландский шпат имеет форму ромбоэдра, если срезать (т. е. отшлифовать) два противоположащие тупые угла *A* и *B* перпендикулярно к соединяющей их линии (главной оси кристалла), то черная точка, рассматриваемая сквозь кристалл в направлении этой линии, будет видна в единственном числе, при всяком же косвенном наблюдении по отношению к этой линии она будет видна вдвойне. Световой луч, выходящий из черной точки, разлагается, следовательно, внутри кристалла на два, из коих один преломляется отлично от другого во всех направлениях, за исключением направления, параллельного к главной оси. При указанном способе шлифовки углов оба луча остаются еще в плоскости падения; но если срезать углы наискось к оси, то один из лучей выходит уже из плоскости падения. *Первый луч называется*

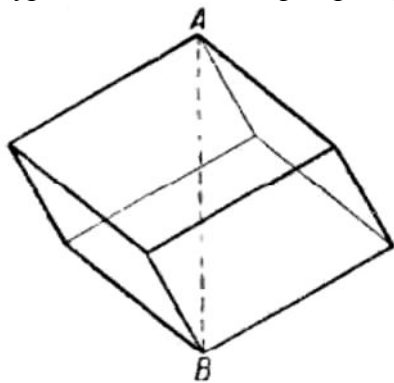
¹ «Experimenta Crystalli Islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur», Копенгаген, 1669.

240 РАЗДВОЕНИЕ ЛУЧА В ИСЛАНДСКОМ ИЗВЕСТКОВОМ ШПАТЕ

обыкновенным, и для него Гюйгенс (как и Бартолин до него) нашел постоянный показатель преломления, равный $\frac{5}{3}$. Чтобы найти правило для построения в каждом данном случае хода и второго, так называемого *необыкновенного луча*, Гюйгенс принял, что мельчайшие частицы известкового шпата имеют форму *эллипсоидов вращения*, *которых малая ось (ось вращения) параллельна главной оси кристалла*, и что поэтому *оптическая плотность известкового шпата в направлении главной оси всего больше, во всех же других направлениях меньше и везде обратно пропорциональна соответствующим радиусам эллипсоида*. При этом условии всякая световая волна, выходящая из одной

точки, разлагается в кристалле на две волны. В первой, имеющей шаровидную форму, скорость распространения во всех направлениях одинакова, а, следовательно, и показатель преломления один и тот же. Вторая же волна имеет форму эллипсоида вращения, сходную с формой частиц шпата. Здесь скорость распространения в направлении главной оси всего больше (равна скорости шаровой волны), а в других меньше. Первая волна производит обыкновенный, вторая необыкновенный луч. Из целого ряда измерений преломления необыкновенного луча Гюйгенс вывел форму этого эллипсоида и нашел отношение между его осями приблизительно равным 0,9. Вместе с формой эллипсоида для каждого направления определяется его радиус, а, следовательно, и скорость распространения света в данном направлении, равно как и показатель преломления. *Отсюда уже ясно, каким образом Гюйгенс для любого направления падающего луча находил вычислением или построением (без всяких дальнейших наблюдений) направление необыкновенного луча. Свою теорию он проверил многими измерениями, и согласие между теорией и наблюдением служило для него надежным доказательством правильности волновой гипотезы.*

К сожалению, современники не были расположены признать ее. Ньютон в своей «Оптике», вышедшей 14 лет после напечатания исследований Гюйгенса, упоминает о них по поводу свойств исландского шпата и, несмотря на это дает неверное указание о способе построения необыкновенного луча. То обстоятельство, что Гюйгенс защищал свою теорию, по-видимому, неблагоприятно повлияло на отношение к ней Ньютона. Что же касается его последователей, — а таковыми постепенно стали все физики-оптики, — то они сочли за лучшее убить молчанием неудобный для них трактат о хлопотливой волновой теории. «*Traite de la lumiere*» остался для ближайшего будущего без всякого значения; это сочинение как будто вовсе не существовало для целого последующего столетия, и даже великий Эйлер не мог добиться должного к нему внимания. Лучшие историки в конце прошлого века упоминают о трактате Гюйгенса почти как о каком-то курьезе, и еще Фишер¹, рассуждая о гюйгенсовском доказательстве закона пре-



Черт. 13.

¹ Fischer, „Gesch. d. Physik," II, стр. 47.

ГЮЙГЕНС И ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ 241

ломления, замечает: «Как ни правильно это доказательство само по себе, оно все же основано на гипотезе, которая вряд ли может найти приверженцев в настоящее время. Сверх того, из него вытекало бы, что световые лучи в более плотных средах преломляются сильнее, чем в средах менее плотных, а последнее прямо противоречит опыту».

И, тем не менее, путь, которым шел Гюйгенс при обосновании своего нового учения, представляет собой один из лучших образцов правильного физического метода. Своим знаменитым афоризмом: «Я гипотез не строю» Ньютон вновь указал физике путь чистой индукции. Между тем, именно его «Оптика» служит доказательством того, что без помощи гипотезы о сущности явлений едва ли можно придти к объяснению столь сложных явлений, как дифракция, двойное преломление и т. д. С другой стороны, Гюйгенс, выведя математические законы явлений на основании своей теории волнообразного движения света и проверив полученные результаты на многочисленных опытах, дал физической оптике, и с точки зрения метода, основы, благодаря которым она в новейшее время сделалась одним из наиболее надежных и наиболее разработанных отделов физики.

Восхваляя этот метод, мы, однако, не должны забывать, что и Гюйгенсу не удалось найти объяснения всех загадочных явлений; что и при волновой теории в тогдашней оптике оставались темные места, на которые можно было указать как на аргументы против этой гипотезы. *Теория цветов, например, оставалась для нее камнем преткновения, и даже возможность прямолинейного распространения света исключалась, по мнению некоторых, волновой теорией.* Прямолинейное распространение света через светлое отверстие в темной комнате Гюйгенс объясняет следующим образом: когда свет проникает через светлое отверстие в темную комнату, то, разумеется, из каждой светящейся точки в отверстии будет распространяться в комнате волна; но эти парциальные волны, выходящие из отдельных точек отверстия, хотя и распространяются вне прямолинейного (освещенного) пространства, но сойтись друг с другом или встретиться они могут только прямо впереди отверстия, поэтому только здесь они производят ощущение света. «Это обстоятельство было неизвестно тем, которые впервые рассматривали световые волны, как, например, Гук в своей «Микрографии» и «Пардиз». Если эти объяснения страдают некоторой неопределенностью, то еще труднее было для Гюйгенса, бед *ясного представления об интерференции света*, объяснить происхождение цветов при дифракции¹, при прохождении света сквозь тонкие пластинки и т. д. Поэтому он прибегнул к наиболее удобному, но вряд ли извинительному способу выйти из затруднения — просто обошел молчанием в своем трактате теорию цветов. Это было, по всей вероятности, од-

¹ Явления дифракции и впоследствии обращали на себя тем менее внимания, чем труднее становилось их истолкование. Маральди (1665—1729, Mem. Par., 1723) в своих опытах не пошел дальше Ньютона. С'Гравезанд («Elementa physices», т. II, кн. 5) заметил, что цветные полосы появляются не только в тени предмета, но и в свете очень узкой щели. Оставаясь на точке зрения Ньютона, он объяснял эти полосы притяжением светового вещества краями щели.

242 РАЗЛИЧНЫЕ СТОРОНЫ СВЕТОВОГО ЛУЧА

ной из причин, почему Ньютон и его последователи при их неоспоримых заслугах в этой области оптики отнеслись с пренебрежением к гипотезам Гюйгенса.

Помимо отсутствия теории цветов, в сочинении Гюйгенса встречается еще один пробел, уже прямо касающийся самой волновой теории. Я имею в виду следующее явление, открытое Гюйгенсом на исландском шпате, но не объясненное им. Если главным сечением ромбоэдра назвать плоскость, проходящую через главную ось кристалла и одно из ребер ромбоэдра, то, наложив два ромбоэдра исландского шпата друг на друга так, чтобы их главные сечения были параллельны, мы увидим, что световые лучи, идущие от нижнего ромбоэдра, проходят через верхний не изменяясь; но если повернуть один из кристаллов так, чтобы оба главных сечения были перпендикулярны друг другу, то обыкновенный луч нижнего кристалла превращается верхним кристаллом в необыкновенный, и, наоборот; при каждом же косвенном положении главных сечений каждый луч, выходящий из нижнего кристалла, разлагается в верхнем на два луча. Упоминая об этом явлении, *Ньютон замечает, что световой луч может иметь различные стороны и, соответственно им, представлять неодинаковые свойства.* Для объяснения явления поляризации света волновой теорией эта мысль оказалась впоследствии необыкновенно плодотворной; у самого же Ньютона она была просто новым вынужденным гипотетическим свойством световых лучей, оставленным без дальнейшего применения. Но и Гюйгенс не сумел объяснить этого явления именно в этом пункте. Он, как мы знаем, принял, что *колебания светового эфира, подобно колебаниям воздуха при звуке, происходят по направлению распространения волны.* Такое предположение не позволяло видеть, каким образом световой луч может с разных сторон обнаружить различные свойства, и потому объяснение вышеупомянутых замечательных явлений Гюйгенсу не удалось. Лишь при возрождении волновой теории в нашем столетии ошибка Гюйгенса была исправлена гипотезой, что *колебания эфира происходят во всех возможных направлениях, перпендикулярных к линии распространения светового луча.* Таким образом мысль Ньютона о различных сторонах светового луча получила право на существование только при посредстве враждебной ему теории.

Одновременно с теоретическими исследованиями в области оптики Гюйгенс очень много занимался и работами практического характера. В 1660 г. он изобрел новый способ шлифовки стекол и вместе со своим братом Константином изготовил по этому способу *чечевицы значительных размеров.* Так как, однако, такие чечевицы требовали слишком длинных зрительных труб, которыми трудно было управлять, то он исключил из аппарата трубу, укрепив стекла на длинном стержне. Первая вполне практичная *воздушная зрительная труба* была им устроена в 1684 г. В сочинении «Cosmotheoreos» (Гаага, 1698), Гюйгенс описал также новый *прибор для измерения яркости света* и при его помощи нашел, что солнце в 27 664 раза светлее Сириуса.

В это время вообще усердно занимались *усовершенствованием оптических инструментов и в особенности телескопов.* В Италии изготовлением чечевиц большой фокусной длины прославился *Дивини* (около

1660 г.) и еще более *Кампани* (около того же времени); во Франции — *П. Борель* (1620—1689) и *А. Озу* (ум. в 1691 г.); в Англии — *Нейль, Рейв и Кокс*; в Голландии — *Н. Гартсектор* (1656—1725), а в Германии главным образом *Чирнгаузен*. «Философ, математик и физик», граф Э. В. Чирнгаузен (1651—1708) устроил в своих поместьях особые стеклянные заводы и мельницы для шлифовки оптических стекол. При посредстве подобной чечевицы, приготовленной Чирнгаузенем, *Аверони* и *Тарджиони* произвели первые опыты сжигания алмазов (1694 и 1697 гг.). Он же шлифовал большие зажигательные зеркала, из которых самое большое было сделано в 1687 г. Оно было сделано из меди, вдвое толще спинки обыкновенного ножа, имело в диаметре 3 лейпцигских локтя и 2 локтя фокусной длины. При помощи этого зеркала плавил металлы, прожгли саксонский талер в 5 или 6 минут и покрывали глазурью кирпичи и земли¹. Зеркало Чирнгаузена хранится до сих пор вместе с другими зажигательными зеркалами и стеклами в Королевском музее в Дрездене².

Теоретическое значение имеют исследования *фокусных линий*, впервые напечатанные Чирнгаузенем в 1682 г. в «*Acta eruditorum*». Форма фокусных линий для чечевиц была впервые описана Барроу в «*Lectiones opticae*»; Чирнгаузен определил ее и для сферических зеркал. Построение его оказалось неточным; он сам признал позднее свою ошибку и исправил ее в 1690 г. *Иоганн и Яков Бернулли* (1692—1693) и *Лопиталь* (1716) значительно расширили его исследования; Якову Бернулли принадлежат названия диа- и катакаустических кривых. Гюйгенс тоже занимался этими вопросами и правильно определил фокусные линии вогнутого зеркала для параллельно падающих лучей. Свои исследования он изложил в своем трактате 1690 г.

Нам остается еще упомянуть приложенное к «Оптике» Гюйгенса его рассуждение о причине тяжести: «*Discours de la cause de la pesanteur*». В этом рассуждении он утверждает, согласно с мнением Ньютона и в противоположность своим прежним собратям по французской академии, что *земля сжата у полюсов*. Из формулы, приложенной к его «*Horologium oscillatorium*», он вычислил центробежную силу у земного экватора в $1/289$ силы тяжести; он обратил внимание на то, что в 17 раз большая скорость вращения земли совершенно уничтожила бы тяжесть у экватора, и подобно Ньютоу, вывел из центробежной силы необходимость сжатия земли. *Гюйгенс вычислил сжатие в $1/578$, Ньютон же получил более верную дробь $1/230$* . Зато Гюйгенс дал наглядное доказательство сжатия вращающихся шаров, насадив мягкий глиняный шар на вертикальную ось и приведя его во вращательное движение. В том же приложении он утверждает, что картезианские вихревые движения не в состоянии объяснить тяжести по следующим причинам: 1) центробежная сила тяжелых жидкостей толкала бы тела не к центру земли, а к оси вихря; 2) для того чтобы эфирная масса могла сообщать земным телам движение тяготения, вращение вихря должно быть в 17 раз скорее вращения земли; 3) согласно картезианской гипотезе более

¹ Fischer, „Gesch. d. Physik," VII, 180.

² Gerland, Leopoldina, XVIII, 1882.

244 СПОР О МЕРЕ СИЛЫ

плотные тела должны были быть легче, а менее плотные — тяжелее. Гюйгенс поэтому попробовал придать эфиру другое более целесообразное движение, но тоже не смог придти к удовлетворительному построению.

В том самом году, когда Ньютон окончил свои «Начала», возник другой спор о силе, возбудивший в широких кругах не менее живой интерес, чем теория притяжения, и подобно ей, не решенный ни в ту, ни в другую сторону. Философ и математик **ЛЕЙБНИЦ** поместил в «Acta eruditorum» в 1686 г. трактат под заглавием: «Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari». В этом трактате он утверждал, что *величина силы измеряется не произведением массы на скорость, а произведением массы на высоту падения, обуславливающей эту скорость или, что одно и то же, произведением массы на квадрат скорости*. Декарт, следовательно, ошибался, предполагая, что при всех изменениях во вселенной количество движения всегда остается неизменным; в действительности же *произведение массы на квадрат скорости — вот что сохраняется при всех изменениях*. За названным сочинением последовало в 1695 г. другое, озаглавленное: «Specimen dynamicum pro admirandis naturae legibus circa corporum vires et mutuas, actiones detegendis et ad suas causas revocandis». Здесь Лейбниц рассматривает различие между *живыми и мертвыми силами*. Мертвыми он называет такие силы, которые не производят движения, но обладают только стремлением к последнему; для них верна картезианская мера силы, а именно: произведение массы на скорость, которую стремятся произвести силы или произвели бы в первый момент времени. Для таких же сил, которые производят действительные движения, где скорости вследствие повторных импульсов постоянно суммируются, следует применять новую меру. Оба эти положения Лейбница были вызваны специальными механическими работами того времени и представляли лишь обобщение начал, положенных в основание этих работ. Первое положение было навеяно *законом виртуальных скоростей*, находившим уже широкое применение, причем действие сил определялось скоростями, которые они произвели бы при возможных движениях. Второе положение основывалось на последних исследованиях движения маятника, при которых Гюйгенс предполагал, что тело маятника вследствие приобретенной им скорости должно подниматься на ту самую высоту, с которой оно упало.

Картезианцы всячески защищались против обвинений, возводимых на их учителя. Они продолжали настаивать на количестве движения как мере силы и правильно возражали Лейбницу, что отвергать эту меру можно лишь в том случае, если не принимать в расчет времени; и далее, что *количество движения представляет вполне правильную меру сил, если только принимать в расчет время, в течение которого сила произвела данное количество движения*. Спор получил дальнейшее распространение в течение первых десятилетий XVIII столетия. Папин, Кларк, Меран и др. высказывались против Лейбница; И. Бернулли, СГравезанд, Герман, Вольф — за него; маркиза дю-Шатле и ее друг Вальтер примкнули к противоположным партиям, а великий немецкий философ Кант

ЛЕЙБНИЦ И ВОПРОС О СОХРАНЕНИИ СИЛЫ 245

своим юношеским произведением, напечатанным в 1747 г. («Gedanken von der Schätzung lebendigen Kräfte in der Natur»), вызвал следующую эпиграмму со стороны Лессинга: «Kant untenimmt ein schwer Geschäftes der Welt zum Unterricht. Er schätzt die lebendigen Kräfte; nur seine schätzt er nicht»¹.

Вопрос принял постепенно туманно-метафизический оттенок, благодаря главным образом загадочности, заключающейся даже для нас в понятии о силе. В самом деле, если под силой разумеет только способность движущегося тела преодолевать препятствие, то тут не принимается в расчет время, необходимое для действия. В таком случае лейбницева мера должна быть, по крайней мере, пропорциональна действительной величине силы, потому что способность эта, подобно производимой работе, равна половине произведения массы на квадрат скорости. Но если под силой понимать действующую причину, сообщившую данному телу его движение, то при оценке ее, всегда принимается в расчет время, употребленное на достижение этого действия, и сила измеряется количеством движения, произведенным за известное время, или, как теперь выражаются, — произведением массы на ускорение. В этом смысле уже Ньютон принимал ускоряющую центральную силу пропорциональной скорости, достигнутой за известное время, а движущую центральную силу пропорциональной полученному количеству движения; Галилей же еще раньше измерял силы вызванными ими скоростями. Таким образом спор мог иметь место только вследствие двоякого толкования слова «сила»; по этой причине математическая механика, строго ограничиваясь формулами, могла держаться в стороне от вопроса о мере сил, и д'Аламбер имел право изгнать его из области науки как праздную игру слов. Но вследствие такого отношения и второй вопрос, о сохранении силы, имевший наибольший общий интерес, остался нерешенным, а только отложенным до другого времени. Относительно сохранения силы можно было в ту пору устанавливать только метафизические законы; обсуждение его на физической почве было еще немыслимо, потому что не существовало ни закона, ни даже отдаленного предчувствия, превращения сил, например внешних механических сил во внутренние молекулярные силы, теплоту и т. д. Во всяком случае, этот спор вызвал весьма интересные замечания со стороны Лейбница. Он обратил внимание, что при ударе неупругих тел теряется живая сила, и высказал предположение, что она поглощается мельчайшими частицами тел. О возвращении этой утраченной части силы в форме теплоты Лейбниц еще не думал, хотя и говорит: «То, что поглощается мельчайшими атомами, не теряется, безусловно, для вселенной, хотя и теряется для общей силы сталкивающихся тел». Впрочем, это многообещающее положение представляет собой не начало, а скорее заключительный вывод одного философского трактата того времени и имеет не физическую, а метафизическую основу.

Готфрид Вильгельм фон-Лейбниц, родившийся 21 июня 1646 г.

¹ „Кант берет на себя трудную задачу просвещения мира. Он измеряет живые силы, но не знает меры своих". Lessing's Sämmtl. Werke (Cotta u. Kroner) T. I, стр. 57.

246 ЛЕЙБНИЦ. МОНАДОЛОГИЯ

в Лейпциге, изучал в Лейпциге и Йене право, а вместе с тем философию и математику у известного йенского профессора *Вейгеля* (1621 — 1699). Во время путешествия в Париж и Лондон с 1672 по 1676 г. он познакомился с замечательнейшими математиками и натуралистами обеих столиц, с картезианцем Арно, Гюйгенсом, Коллинсом, Ольденбургом, Бойлем, а проездом через Голландию он посетил и Спинозу. В 1676 г. он стал директором Ганноверской библиотеки и в этом городе умер 14 ноября 1716 г.

Еще в начале семидесятых годов XVII столетия Лейбниц вполне сходил с Декартом во взглядах на сущность материи и настаивал на том, что в телах существует только величина, форма, движение и нет никаких скрытых свойств, сил и вообще ничего такого, чего бы нельзя было объяснить механически. Он, однако, не был картезианцем; по его мнению, и в натурфилософии Аристотеля заключается много такого, что при правильном истолковании может оказаться верным; относительно же существования или не существования пустого пространства он еще колебался. *Но вот в 1684 г. Лейбниц выступает с предостережением против слишком широкого применения картезианских начал; и 1686 г. появляется в печати его первое возражение против Декарта, и с этих пор начинается развитие его системы в духе прямо противоположной системе французского философа.* По всей вероятности в этом повороте мнений немалую роль сыграла оппозиция против атеиста Спинозы¹, сводившего, по примеру Декарта, сущность материи к одному протяжению: доказательством этого служит замечание самого Лейбница, что без признания силы в материи нельзя избежать спинозизма. С 1686 г. Лейбниц начал излагать в письмах, а с 1690 г. помещать в журналах основы своей системы монад и предустановленной гармонии. Он указывал, что нет возможности открыть причину истинного единства (природы) в одной материи или в том, что только пассивно. *Истинные единицы или простые субстанции определяют понятием силы. Отсюда всякая монада (единичное существо) наделена, наряду с пассивной силой сопротивления, и активной силой, проявляющей свое действие, лишь только удалены препятствия; так, натянутая тетива лука требует только освобождения, чтобы обнаружить свое действие. Материя есть необходимое следствие силы. Сила же имеет две стороны, активную и пассивную. Пассивная есть сила сопротивления или инерция; активная есть душа материи, присущее ей по природе стремление к движению.* Но хотя субстанция и состоит исключительно из силы, тем не менее, никогда не удастся составить себе чувственного представления о силе или получить возможность продемонстрировать ее на опыте. *Никакой анализ не откроет нам источника всей мировой деятельности; сила есть не физическое, а метафизическое понятие.*

Этим мы, с одной стороны, значительно приблизились к сфере понятий последователей Ньютона, защищавших всеобщее тяготение как общее свойство материи; с другой стороны, здесь налицо еще значительное расхождение, так как Лейбниц своему понятию о силе придает

¹ Baruch Spinoza (1632—1677): *Renati Cartesii principia philosophiae* (1663); *Opera posthuma*, вместе с "Этикой" (1677).

одно *метафизическое*, а не *физическое* значение и не защищает действия на расстоянии даже с *метафизической* точки зрения. Напротив, деятельная сила одной монады никогда не действует на другие монады иначе, как исключая их из себя и, следовательно, прямо ограничивая их. В этом отношении у Лейбница, как и у Декарта, возможно только непосредственное действие. Но раз Лейбниц предположил в материи присущее ей стремление к движению, последователи Ньютона могли решиться соединить такое стремление к движению с действием на расстояние и объяснить им последнее.

Монадология Лейбница должна была быть исключительно метафизической системой; и едва ли какой-либо физик когда-нибудь пытался принять ее без изменения за основу своих теоретических начал; тем не менее, она впоследствии оказала некоторое слияние на физику, по крайней мере, косвенное. Декарт исключил из материального мира понятие силы, в смысле первоначально действующей причины движения; Лейбниц же именно в этом последнем понятии признал истинную сущность материи. Физики, в своем затруднительном выборе между Декартом и Ньютоном, приняли с радостью новое представление о стремлении материи к движению; и хотя они не нашли никакого дальнейшего приложения для монадологии Лейбница, тем не менее приняли ее охотно как подкрепление ньютоновских идей. Таким образом к *математическому представлению Ньютона о силе присоединилось в качестве желанного союзника метафизическое учение Лейбница*.

В то время как математические физики занимались преимущественно разработкой ньютоновских начал, экспериментальные физики работали над усовершенствованием метеорологических инструментов, и в этом отношении особенно выдавался Амонтон. *ГИЛЬОМ АМОНТОН* (1663—1705) родился, жил и умер в Париже. В 1687 г. он представил Парижской академии сделанный собственноручно гигрометр, представлявший полый шар из овечьей кожи, растягивавшийся в сыром воздухе и сокращавшийся в сухом. В 1695 г. он издал специальное сочинение о метеорологических инструментах под заглавием «*Remarques et experiments physiques sur la construction d'une nouvelle clepsydre, sur les baromètres, thermomètres et hygromètres*»; вероятно, благодаря этому сочинению он и был принят в члены академии в 1699 г. Амонтон описывает *два барометра, очень остроумные по идее*: один, состоящий из трубки, изогнутой много раз, мог быть сделан значительно короче обыкновенного барометра, а в другом трубка была коническая, благодаря чему он должен был сильнее обычного барометра выявлять колебания воздушного давления. В 1703 г. Амонтон изложил в мемуарах Парижской академии *изобретение открытого воздушного термометра*, в котором теплота измерялась упругостью заключенного в приборе воздуха, и одновременно исключалось влияние изменения воздушного давления, даваемого барометром. Вследствие значительной длины, сложности приемов отсчитывания и трудности переноски Амонтон сам считает этот прибор пригодным лишь в качестве нормального термометра для проверки по нему других. Впрочем, все его инструменты, несмотря на оказанный им благосклонный прием, не употреблялись в практике, так как заключали в себе источники значительных ошибок. Но, с дру-

248 ПОПРАВКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В БАРОМЕТРАХ

гой стороны, Амонтон, занимаясь сам приготовлением приборов и работая с ними, оставил после себя важные практические указания, которыми впоследствии воспользовались для устройства более совершенных приборов. Ему было вполне известно (наблюдавшееся, впрочем, и ранее) *постоянство температуры кипения воды, и он первый нанес ее как постоянную точку на шкалу своего воздушного термометра*. При помощи последнего он нашел два важных закона, касающихся упругости воздуха: *при равном давлении упругость воздушных масс возрастает пропорционально сообщенным им количествам тепла; при равной температуре упругость воздушных масс возрастает пропорционально увеличению давления*.

Амонтон сделал еще другое очень важное для барометрических наблюдений указание. Он установил, что ртуть расширяется на $\frac{1}{115}$ своего объема, когда температура переходит от наибольшего зимнего холода к наивысшему летнему теплу в Париже. Отсюда он вывел, что *в барометрические высоты нужно вносить поправки на температуру*, чтобы не приписывать изменению воздушного давления того, что вызвано изменением температуры ¹, и составил таблицу таких поправок. Но его поправки не имели еще тогда практического значения, так как в тогдашних барометрах имелись источники других еще больших ошибок, так что отдельные инструменты очень редко давали согласные показания. *Происходило это главным образом оттого, что барометры тогда не подвергались кипячению*, поэтому торичеллиева пустота всегда получала от ртути некоторое количество воздуха, большая или меньшая упругость которого при различных температурах производила различное давление на ртуть. Сам Амонтон этого источника ошибок и не подозревал. Однажды он получил барометр, который давал по сравнению с другими приборами и с его собственным барометром разницу почти в 19 линий. Амонтон высказал предположение, что, вероятно, размеры и количество пор, пропускающих сквозь себя воздух, в разных стеклах неодинаковы; но конструктор этого барометра *Вильгельм Гомберг* (1652—1715), член Парижской академии,— правда, спустя год после смерти Амонтона, — сообщил, что он имел обыкновение выколачивать барометрические трубки перед наполнением их ртутью, алкоголем, пары которого в них, вероятно, и оставались.

Амонтон пытался *измерять температуры выше точки кипения воды*. С этой целью он накаливал с одного конца железную полосу, наблюдал в нескольких местах повышение температуры по мере перехода от холодного конца к горячему и вычислил температуры для всех точек полосы, исходя из предположения, что температура возрастает в арифметической прогрессии. Амонтон изложил свои взгляды по этому вопросу лишь в виде примечаний к статье, появившейся в «Philosoph. Transact.» 1701 г. ² В этой статье Ньютон описывает прием, сходный с амонтоновским, но для нарастания температур он принимает более

¹ „Que tous les baromètres agissent non seulement par le plus ou moins de poide de l'air, mais encore par son plus ou moins de chaleur". („Par. Mém.", 1704).

² „Remarques sur la table des degres de chaleur extraite des Transact. philos. de 1707" („Par. Mem.", 1703).

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР. ТРЕНИЕ 249

правильный закон, допуская, что температуры возрастают как ординаты логарифмической кривой. Впрочем, для температуры до 600° разница в результатах, вычисленных по тому и другому правилу, не очень значительна. По-видимому, около этого времени Ньютон тоже много занимался теплотой. Он пытался доказать теоретически, что шар теряет теплоту путем излучения в геометрической прогрессии, когда время нарастает в арифметической, и построил для своих опытов особенный термометр. Этот прибор был наполнен льняным маслом; постоянными точками шкалы служили температура таяния льда и температура человеческого тела; первая была обозначена нулем, а вторая 12; температуре кипения воды соответствовало, следовательно, число 34¹. В своих «Началах» Ньютон считает температуру кипения воды в 7 раз выше температуры самого теплого летнего дня.

В 1699 г. в мемуарах Парижской академии появилось исследование Амонтона по вопросу, который до тех пор оставался почти незатронутым в механике. До этого времени очень мало занимались трением тел, принимая без дальнейших доказательств, что величина трения пропорциональна поверхности трения. В своих опытах Амонтон помещал тела на горизонтальную плоскость, прикреплял к ним шнур, шедший параллельно плоскости трения, перекидывал его через блок и к свободному концу шнура прикреплял чашку весов. Наблюдая, какие грузы требовались при разных условиях для того, чтобы привести в движение тела, он заметил, к собственному удивлению, что *величина грузов зависела не от величины трущейся поверхности тела, а от веса последнего*. Чтобы доказать это положение как можно нагляднее, он придал перемещаемому телу форму неравностороннего прямоугольного параллелепипеда и показал, что величина трения остается неизменной, будет ли положено тело на плоскость более узкой стороной или более широкой. Эти исследования были встречены очень сочувственно и вскоре нашли продолжателей. Механик *Лейпольд*² подтвердил выводы Амонтона собственными опытами, *Паран* старался обосновать результаты теоретически, а Лейбниц сделал дальнейший важный шаг, указав на *разницу между трением при скольжении и при качении*.

С *ГАЛЛЕЕМ* мы уже встречались во многих областях физики; но нигде он не проявил столько самостоятельности и смелости мысли, как в наблюдениях и теоретических работах по вопросу о *земном магнетизме*, которым он занимался с 80-х годов XVII столетия до начала XVIII в. В 1683 г. появилась в «Philos. Transactions»³ его «Таблица магнитных склонений» для многих мест на земле, преимущественно за период 1670—1680 гг., но также много наблюдений за период с 1640—1650 г. и за еще более ранние годы. Из этих наблюдений он сделал тот вывод, что в данное время в Европе и на восточном берегу Северной Америки склонение западное, и что в промежутке должно быть место, где оно восточное или даже равно нулю. Такие склонения он считал возможным объяснить не иначе, как принятием четырех магнитных полюсов в земле, двух у северного и двух у южного. В другой статье

¹ Fischer, „Gesch. d. Phys.“, III, стр. 227.

² Theatrum machinarum generall (Лейпциг, 1723—1727).

³ «Theory of the variation of the magnetical compass».

250 МАГНИТНОЕ СКЛОНЕНИЕ

1692 г.¹ он пользуется своей теорией для объяснения изменчивости склонений в одном и том же месте земной поверхности. С этой целью он представляет себе землю состоящей из наружной твердой коры, плотного центрального ядра и слоя жидкого вещества между ними. Два магнитные полюса находятся в коре, а другие два в ядре. Затем он принимает, что ядро и кора вращаются около общей оси с неодинаковой скоростью — ядро настолько медленнее, что за 700 лет оно отстает на один полный поворот. Отсюда ясно, что во всех местах земной поверхности магнитное склонение, производимое полюсами ядра и коры, должно постоянно изменяться, представляя правильные периоды в 700 лет. Чтобы проверить свою теорию, Галлей предпринял в 1698—1702 гг. три поездки в Атлантический океан на корабле, предоставленном ему правительством. При этом он напал на счастливую мысль отмечать на карте места равных склонений и соединять их прямыми линиями, чтобы облегчить труд нахождения и сравнения склонений в разных местах земного шара. Эта первая карта *изогонических линий* появилась в 1701 г.² Четыре магнитные полюса Галлея нашли многих приверженцев, но, конечно, и много противников, которым гипотеза Галлея показалась слишком фантастичной. К числу последних принадлежал, прежде всего, *Леонард Эйлер*, старавшийся вывести изогонали Галлея из не вполне симметричного положения только двух магнитных полюсов. *Ламонт* уже ранее того³ пытался объяснить изменчивость склонений на картезианский лад, предполагая, что частицы элементов первого порядка, потоки которых порождают магнитные явления, не поспевая за движениями земли вокруг ее оси и вокруг солнца, вращаются около двух осей или около одной средней, которая обходит земную ось кругом и никогда не совпадает с ней. Вообще в то время, да и долго еще спустя в теориях магнетизма господствовало учение Декарта. Далансе⁴ принимал лишь с небольшим уклонением от Декарта, что определенное направление движения тонкой материи, пронизывающей землю и магнит, обусловливается существованием клапанов, а *Гартсекер*⁵ предполагал магнит состоящим исключительно из призм, через которые тонкая материя проталкивается всегда в одном направлении вращением земли. Доказательством того, что и Галлей придерживался подобной теории истечения, служит его объяснение *северного сияния*. Когда в 1716 г. значительное северное сияние в Германии, Франции, Англии и Голландии напомнило о себе ученым, Галлею показалось, что *уклонение дуги северного сияния от географического севера приблизительно равно соответствующему склонению магнитной стрелки*; поэтому он высказал мысль, что *северное сияние производится магнитным истече-*

¹ «On the cause of the change of the variation of the magnetic needle with an hypothesis of the structure of the internal parts of the earth». («Phil. Trans.», 1692).

² «A general chart shewing at one view the variation of the compass» (Лондон, 1701).

³ «Journal des savants», XXIV, 1689.

⁴ «Traite de l'aimant», 1687.

⁵ «Principes de physique», 1696.

МОЛНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИСКРА 251

нием у северного полюса, направляющимся вокруг земли к южному полюсу. Галлей попытался объяснить эти истечения несколько иначе чем Декарт, допустив, что между корою и ядром существует жидкое вещество, обладающее способностью светиться и по временам прорывающееся через тонкие места коры наружу. Сам Декарт не ставил северного сияния в связь с магнетизмом и объяснял его *отраженным блеском полярных ледяных масс* (это объяснение было однажды выдвинуто и в новейшее время). Другие, как например, *Вольф* («Acta erudit», 1716), считали северное сияние *истечением горючих паров из внутренних пустот земли* не вполне, однако воспламенившихся и потому не представляющих собой молнии.

В то время было еще широко распространено мнение, что *молнии — не что иное, как мгновенно воспламеняющиеся истечения серных или селитренных паров*; но в умах у некоторых начала уже зарождаться догадка о *связи между молнией и электрической искрой*. В 1700 г. некто д-р *Валь* сообщил ¹ о следующем наблюдении: из большого куса натертого янтаря он извлек искру с треском, вызвавшую заметное ощущение в пальце, что заставляет его думать, что свет и треск искры представляют собой подобие молнии и грома. Впрочем, этот же самый Валь имел очень смутные представления об электричестве, так как на упомянутое наблюдение он был наведен опытами над фосфоресцирующими телами, бывшими между учеными в большом ходу со времени наблюдения болонского сапожника Каскариоло. Валь считал именно свечение фосфоресцирующих тел причиной электричества.

Вслед за Бойлем члены Королевского общества от времени до времени обращались к опытам по электричеству. *Ньютон* наблюдал в 1675 г., что натертая стеклянная пластинка притягивает и отталкивает кусочки легкой бумаги, так что их можно заставить прыгать на столе, держа над ними пластинку. *Гауксби* произвел в начале XVIII столетия много опытов по электричеству, но не подвинул значительно вперед этого учения. Он изложил свои работы в «Philos. Trans.», а потом собрал их в сочинении «Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity etc.» (Лондон, 1709). И он перешел к электричеству от явлений фосфоресценции (по крайней мере, считавшихся такими). *Пикар* первый заметил в 1675 г. *свечение ртути в торичеллиевой пустоте, когда он сильно встряхивал барометр в темноте*. Вслед за ним многие стали заниматься этими наблюдениями. Явление это объясняется существованием у ртути особенного фосфора, который называли *меркуриальным фосфором*. Крупнейшие ученые вступали в споры по поводу барометрического свечения и долго не могли придти не только к объяснению его, но и к надежному способу получения меркуриального фосфора. В 1700 г. *Иоганн Бернулли* ², полагая, что нашел способ изготовлять светящиеся барометры, сообщил об этом Парижской академии. Но его рецепты оказались недостигаемыми цели; так же мало помогли делу и дальнейшие пояснения Бернулли в письмах от 1701 г. В 1706 г. французский врач Дюталь защищал

¹ «Philos. Trans.», XXVI, № 314.

² «Nouvelle maniere de rendre les baromètres lumineux» («Mem. Par.», 1700).

252 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ ГАУКСБИ

способ Бернулли, а в 1710 г. Гартсекер утверждал, что толку в нем мало, так как все зависит от сорта стекла, чистоты ртути и содержания в ней воздуха. В 1717 г. Бордоская академия выдала премию за сочинение Мерана ¹, в котором свечение барометра объясняется содержанием в ртути серы. Но уже из опытов Гауксби тогда ясно вытекало, что барометрическое свечение есть чисто электрическое явление, каковым его считают и теперь.

Собственные электрические опыты Гауксби были и многочисленны и разнообразны. Он заметил, что из стекла, как из янтаря, при натирании шерстяной материей исходит свет. Стекланный шар, из которого был выкачен воздух, он приводил в быстрое вращательное движение и, натирая его, подобно Герике, рукой, он получал столь сильное свечение, что предметы освещались на расстоянии 10 футов. Приближая палец к шару, он получал искры *почти в дюйм длиной*; одновременно он ощущал своеобразное давление в пальце и слышал треск. При этих опытах Гауксби выкачивал из шара воздух, конечно, по аналогии с ртутным фосфором, но он наблюдал это же явление и без выкачивания воздуха, только в более слабой степени. Кроме шаров Гауксби, по-видимому, первый стал употреблять для электризации *длинные стеклянные трубки*. Когда их в наэлектризованном состоянии передвигали близко от лица, они производили ощущение, как будто по коже проводят пучком волос. Электризации подвергались шары из серы и смолы и смеси этих тел с глиной. При этом выяснилось, что *шары из разных веществ наэлектризовываются не в одинаковой степени; но различия между электричеством стекла и смолы Гауксби не открыл*. Далее, он заметил, что *стеклянные трубки, сильно приближенные к наэлектризованным шарам, в свою очередь издают слабый свет*; что многие тела, например металлы, трением не электризуются; что влажность мешает электрическому действию, а нагревание усиливает его. Все эти явления он объяснял *теорией истечений*. Влажность препятствует электрическим истечениям и этим ослабляет электричество. Истечения переходят, конечно, с электрического тела на неэлектрическое: оттого ненаэлектризованные тела светятся вблизи наэлектризованных. Новы и интересны были у Гауксби, прежде всего более сильные электрические действия, чем у его предшественников, например *длинные ясные искры, значительный шум при истечении электричества, и свечение внутри наэлектризованных шаров*, имевшее сходство со свечением меркуриального фосфора.

Вслед за членами Королевского общества начали заниматься электричеством и члены Парижской академии, например, Иоганн Бернулли и Кассини младший. Но все их труды в этом направлении доказали лишь одно: что опыты без руководящей идеи и без обобщающих теорий, хотя бы и гипотетических, способны лишь накапливать материал, который зачастую оказывается почти лишенным значения даже для последующего времени.

¹ «Dissertation sur la cause de la lumiere des phosphores et des noctiluques Бордо, 1717.

Упомянув здесь имя Галлея в последний раз, мы укажем еще на его заслуги в области физики земли, которою он много занимался. В 1719 г. он показал, что *огненные метеоры* ввиду их громадной высоты, величины и скорости не принадлежат к нашей атмосфере и представляют собою космические тела, притягиваемые землей ¹. Он *пытался определить количество тепла, получаемого от солнца определенным местом земной поверхности, принимая, что эта величина пропорциональна синусу угла высоты солнца над горизонтом и продолжительности освещения*. Галлей оспаривал мнение о существовании подземного стока из Средиземного моря в Красное, объясняя колебание уровня воды в первом из них ее испарением. Наконец, *поднятие водяных паров в воздухе он объяснял тем, что пары состоят из мелких полых пузырьков, наполненных разреженным воздухом*. Такого же мнения придерживался Дергам («Physico-theology», Лондон, 1713), который даже уверял, что видел в лупу пузырьки испаряющейся воды. Вольф вычислил разрежение воздуха в пузырьках пара («Nützliche Versuche», 1721—1723).

С тех пор, как Герон устроил паровой шар, внимание физиков по временам обращалось на громадную силу напряженного пара. Но вначале, естественно, эта сила лишь пугала воображение, воспользоваться ею для полезных целей никому не приходило в голову. Такого рода мысль стала серьезно занимать умы лишь в начале XVIII столетия, в форме решения частной задачи *выкачивания из шахт воды силою собственных ее паров*. Большинство изысканий велось в течение XVII столетия именно в этом направлении, и первая *паровая машина* была приспособлена только для этой цели. При той важности, какую впоследствии приобрела паровая машина, не удивительно, что ученые разных стран из патриотического чувства старались приписать честь ее изобретения своим соотечественникам. В самом деле, *стоит лишь соответственно цели более или менее расширить понятие о паровой машине, как любому человеку, высказавшему мысль об утилизации пара как двигателя, можно приписать честь первоначального ее изобретения*. Если же считать, — как то и следует, — первой паровой машиной такую, которая была в состоянии более или менее долгое время производить целесообразную работу и которая послужила вместе с тем исходным типом, из которого постепенно развились современные машины, то годом изобретения будет 1705 г., а изобретателями будут англичане. Впрочем, немцы и французы правильно указывают на важное значение их подготовительных работ в этом направлении.

Первый, описавший в XVII столетии машину для поднятия воды, был *Соломон де-Ко* (с 1576 г. до 1630 приблизительно), родившийся, вероятно, во Франции, но с 1612 до 1620 г. состоявший на службе строителем и инженером у Фридриха ² V Пфальцского. В своем сочинении «Les raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tout utiles que

¹ Вольф считал огненные шары, подобно молнии, воспламененным веществом. Уистон держался такого же мнения, Гартсекер и Валлис считали их прямо кометами.

² Poggendorf, «Gesch. d. Phys.», стр. 538 и 539.

254 ПАРОВЫЕ МАШИНЫ. УОРЧЕСТЕР СЭВЕРИ

plaisantes auxquelles sont adjoints plusieurs desseings des grottes et fontaines» (Франкфурт, 1615) он описывает полый железный шар с вводной трубкой для жидкости сбоку и выводной вертикальном, по которой поднимается вода до поверхности земли. Первая трубка после наполнения шара водой запирается, а вторая проходит по шару почти вплоть до дна. Если поставить этот шар на огонь, то пары, не имея выхода, поднимают воду по выводной трубке кверху. На основании этих данных *Араго* уже готов считать *де-Ко* изобретателем паровой машины. Хотя с этим согласиться нельзя, но следует все-таки признать, что паровой шар *де-Ко* представляет предшествующую ступень к машине, устроенной *Эдвардом Сомерсетом* маркизом Уорчестерским. В 1663 г. в Лондоне появилась небольшая брошюра последнего под заглавием: «A century of the names and scantlings of such inventions as at present I can call to mind to have tried and perfected». Здесь под № 68 упоминается машина, которая способна непрерывно поднимать любое количество воды на любую высоту. В том же 1663 г. маркиз получил привилегию на эту машину для себя и своих наследников на 90 лет. В 1667 г. в дневнике путешествия, совершенного по Англии сыном тосканского герцога Фердинанда II, Косьмой, упоминается о гидравлической машине Уорчестера в Лондоне, поднимающей воду на высоту 40 футов. К сожалению, изобретатель в своей книге описал устройство машины лишь в общих чертах. Предполагают, что она состояла из парового котла с двумя выводными трубками, запирающимися кранами; трубки были проведены в два резервуара, и пар вытеснял из последних воду непосредственно в подъемную трубу. Из двух кранов один оставался всегда открытым, так что вода вытеснялась лишь из одного резервуара; другой же в это время наполнялся ею. Большие надежды, возлагавшиеся Уорчестером на его машины, не оправдались; со смертью маркиза в 1667 г. изобретение его было забыто, может быть, впрочем, не вполне, потому что вскоре затем *Томас Сэвери* устроил машину, столь схожую с уорчестеровой, что, должно быть, знал устройство последней (*Дезагюлье* прямо утверждает это). В 1698 г. Сэвери, владелец копей или горный чиновник в Корнваллисе, взял патент на паровую машину, которая состояла, как и у его предшественника, из двух нагнетательных сосудов, с двумя приводными трубками, краны которых управлялись рукою человека. Существенное отличие составляло лишь остроумное клапанное приспособление, благодаря которому каждый сосуд, после того, как он опорожнялся от воды после соответствующего поворота кранов, сам всасывал необходимую для его наполнения воду. Сэвери опубликовал описание своей машины в 1696 г., а затем, получив спустя два года на нее патент, демонстрировал модель этой машины Королевскому обществу и королю Вильгельму в Гэмптон-Корте. В 1702 г. появилось второе описание его машины в сочинении, озаглавленном «The miner's friend».

Около этого времени в Марбурге Папен был занят планами устройства паровых машин, которые значительно быстрее продвинули этот вопрос. Машины Уорчестера и Сэвери были в принципе не чем иным, как героновыми шарами, в которых сжатый воздух заменялся паром; у Папена же основным элементом машины является паровой цилиндр

с поршнем, т. е. форма, сохранившаяся и по сие время. Уже в 80-х годах XVII столетия Папен занимался вопросом о *поднятии воды нагретым воздухом*, а в 1690 г. он предложил употреблять для этой цели пар и устроил модель паровой машины, способную производить работу ¹. Она описана в его сочинении: «Recueil de diverses pieces touchant puelques nouvelles machines» (Кассель, 1695). По его мысли в цилиндр с подвижным поршнем наливается немного воды, цилиндр ставится на огонь, и пар поднимает поршень; если затем поршень закрепить на месте, снять цилиндр с огня и освободить поршень, то последний с большой силой втянется в цилиндр обратно ². Отсюда видно, что машина Папена, несмотря на ее высокий теоретический интерес, была с практической стороны выполнена довольно слабо, поэтому заслуга устройства практической машины, действительно пригодной для работы, выпала на долю двух англичан Ньюкомена и Каули, которые, по всей видимости, были знакомы с опытами Папена и воспользовались его идеями.

Торговец железом *Томас Ньюкомен* и стекольщик *Джон Каули* (оба из Дортмута) устроили в начале XVII столетия первую паровую машину, отличающуюся от описываемой в учебниках физики под их именем воздушной паровой машины лишь тем, что сгущение пара производилось не впрыскиванием холодной воды в цилиндр под поршень, а обливанием цилиндра снаружи водой. Привилегию на свою машину они получить не могли из-за патента, выданного Сэвери в 1698 г.; поэтому Сэвери был принят ими в компанию, которая и получила в 1705 г. новый патент. *Первая действительно рабочая паровая машина была изготовлена в 1711 г. в Уольвергэмптоне по заказу некоего Бэка для поднимания воды*. Здесь уже сгущение паров достигалось впрыскиванием внутрь холодной воды, что значительно ускоряло ход машины. Утверждают, что *Гёмфри Поттер* состоял работником при этой первой машине. Рассказывают, далее, что ему, как мальчику, было поручено отпирание и запираание кранов, пускающих попеременно в цилиндр то пар, то воду, и что когда ему наскучило однообразие этих манипуляций, он связал бечевками краны с коромыслом таким образом, что скучную работу рук стало производить коромысло. Время, когда это случилось, неизвестно, но, во всяком случае, вскоре после 1711 г. эти машины появляются уже с придаточным рычагом, заменившим, бечевку Поттера.

Ньюкомен и Каули снабдили паровую машину коромыслом, противовесом для поднятия поршня, приспособлением для сгущения пара холодной водой, и вместе с Поттером — штангой для управления кранами. Они первые создали действительно рабочую паровую машину. Поэтому оспаривать у них заслугу изобретения первой машины нет никакого основания ³.

Паровые машины распространялись вначале туго и служили исклю-

¹ Gerland. Ber. üb. d. histor. App. an d. Londoner Ausstell., 1876, стр. 80.

² Poggendorff, «Gesch. d. Phys.», стр. 549.

³ Оригинальная модель машины Ньюкомена находится в Лондоне, в Королевской коллегии. Gerland, Leopoldina, Heft XVIII, 1882.

256 РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАРОВЫХ МАШИН

чительно для поднятия воды. В 1718 г. Генри Брайтон построил в Ньюкасле на Тайне паровую машину, отличавшуюся более совершенной автоматической регулировкой и наличием *предохранительного клапана*. В 1719 г. в Лондоне построили большую машину для поднятия воды из Темзы, а в Германии, по-видимому, первая машина была построена в 1722 г. *Иос. Эмман. Фишером*, бароном фон Эрлахен, для ландграфа Гессен-Кассельского. Около того же времени появились машины в Пасси около Парижа и в Толедо в Испании ¹. Распространению паровых машин в Германии особенно много содействовал механик Лейпольд, тщательно описавший их устройство в своем «*Theatrum machinarum generate*» (Лейпциг, 1723—1727).

Для производства других механических работ, кроме поднятия воды, паровым машинам не хватало еще привода для вращательного движения и махового колеса. В 1736 г. *Джонатан Гольс* первый предложил снабдить машину обоими названными приспособлениями. В 1758 г. *Фицджеральд* описал еще подробнее, как можно приводить маховое колесо в движение коромыслом и таким образом сделать ход машины более равномерным. Но эти предложения не обратили на себя внимания вплоть до общего переустройства паровой машины *Уаттом*, который, по-видимому, и не слышал о них.

Папен, уже много поработавший над вопросом о паровых машинах, все еще продолжал носиться с планами нового устройства машин. В сочинении «*Maniere pour lever l'eau par la force du feu*» (Кассель, 1707) он описал устройство новой паровой машины, которая, по крайней мере, по идее, может считаться *первой машиной высокого давления*. В герметически закрытом паровом цилиндре двигался на небольшом расстоянии полый поршень из жестяных листов. На последний сверху давил пар и выталкивал находящуюся под поршнем воду в резервуар с подъемной трубкой; обратное поступление воды отсюда в шаровой цилиндр задерживалось клапаном. Когда поршень опускался до дна цилиндра, работник запирает вход пару в цилиндр и открывает кран в верхней части парового цилиндра. Тогда из водяного резервуара, в котором уровень воды стоял несколько выше наивысшего положения поршня, вода опускалась через трубку с клапаном (открывавшимся в сторону цилиндра) под легкий поршень; последний поднимался, выталкивал накопившийся над ним пар и возвращался в первоначальное положение ². И эта машина, очевидно, не могла конкурировать с воздушной машиной Ньюкомена; но она, тем не менее, способствовала зарождению новой идеи. С 1692 г. Папен находился в очень оживленной переписке с Лейбницем, продолжавшейся вплоть до отъезда Папена из Касселя ³. В письме Лейбница от 4 февраля 1707 г., в котором он благодарит Папена за присылку означенного выше сочинения, имеется замечание, что для уменьшения размеров машины и понижения тепловых потерь поршень можно было бы приводить в движение сжатым и затем согретым воздухом. Герланд видит в этом ясно

¹ Fischer, «Gesch. d. Phys.», III, стр. 255.

² Gerland, «Wiedem. Ann.», VIII, стр. 358 и 359.

³ Изданная Герландом «Leibnitz' und Huyghens' Briefwechsel mit Papin», Berlin, 1881.

ПАРОВАЯ МАШИНА ПАПЕНА 257

выраженную мысль о *тепловой машине*; нам же этого не кажется, и мы считаем несравненно важнее следующее место того же письма: «Наконец, я не сомневаюсь, что если бы вы захотели, то могли бы легко устроить дело так, чтобы краны *E* и *n* попеременно запирались и отпирались самой машиной, без посредства человека»¹. Отсюда следует, что *об автоматическом регулировании машины Лейбниц думал уже в 1707 г.*

Изобретательский ум Папена не успокоился на мысли использовать устроенную им машину для поднятия воды: он думал о том, как бы *привести в движение корабль силою пара*, и, кажется, эти планы были главной причиной отъезда Папена в конце сентября 1707 г. из Касселя в Англию. К сожалению, ему не удалось заинтересовать в Лондоне Королевское общество, относившееся вообще довольно безучастно к вопросу о развитии паровых машин; а с той поры у Папена, по-видимому, иссякли всякие средства для продолжения опытов. *Папен принадлежит к числу тех несчастливых изобретателей, которые, будучи слишком богаты смелыми идеями, не могут ограничиться действительным выполнением хотя бы одного из задуманных планов.* Он хотел *приводить паром в движение* не только корабли, но и *повозки*; делая опыты с *подводным судном*: изобрел *центробежный насос* без кранов и клапанов для непрерывного поднятия воды, а также для накачивания воздуха; и ничто из этих планов не получило практического применения. Даже то единственное, доведенное им до конца изобретение, которое дошло до нас, а именно папенов котел, только в новейшее время стало действительно приносить ту пользу, какой от него ожидал Папен.

Мы видели, что уже *Мерсенн* пытался определить число колебаний струны, что *Гук* делал соответствующие опыты с металлическими колесами и что, наконец, *Витторио Станкари* (1678—1709) представил Болонской академии в 1706 г. колесо трех футов в диаметре с 200 спиц, насаженными по окружности, издававшее тоны, высота которых была пропорциональна скорости вращения. Отсюда было уже легко определить числа колебаний, соответствующие тонам различной высоты; но точных результатов при всех этих опытах все еще не получалось. Последние были впервые даны Совёром в его акустических исследованиях.

ЖОЗЕФ СОВЁР родился 24 марта 1653 г. в Лафлеше (департамент Сарты), где его отец был нотариусом. Уже в детстве он проявил много интереса и ловкости к механическим производствам и 17 лет (1670) ушел пешком в Париж попытать счастья. В первое время он, однако, пробавлялся лишь частными уроками по математике. В 1681 г., познакомившись с Мариоттом, он помогал ему в его опытах. В 1686 г. он получил место профессора математики в Королевской коллегии, а в 1690 г. сделался членом академии наук. Совёр занимался преимущественно математико-механическими вопросами, но с этого времени он вступает на новый почти нетронутый путь и, несмотря на препятствия личного свойства, достигает значительных результатов. Он был

¹ *Gerland, Wiedem. Ann.*, VIII, стр. 363.

258 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КОЛЕБАНИЙ ТОНА

заика и обладал таким плохим музыкальным слухом, что определял интервалы только при помощи музыкантов. Тем не менее, его исследования по «музыкальной акустике», печатавшиеся в мемуарах академии с 1700 по 1730 г., составили эпоху в этой отрасли знания. Он умер в Париже в 1716 г.

Совёр пользовался для определения числа колебаний тонов очень интересными косвенными методами. При одновременном звучании двух органных труб разных тонов он заметил, что по временам появляются усиления звуков, биения, и правильно приписал их периодическому совпадению обоих тонов. Применив однажды трубы, отличавшиеся друг от друга на полтона, он получил 6 биений в секунду; а так как числа колебаний тонов этих труб относились как 15:16, то для совпадения колебаний по 6 раз в секунду было необходимо, чтобы более низкому тону соответствовало 90 колебаний, а более высокому 96. Далее, он установил, что открытая органная *труба* должна иметь длину в 5 парижских футов, чтобы давать в 1 сек. 200 (половинных) колебаний, и нашел таким образом для большого С около 130 колебаний в 1 сек.¹ Так как гармонические отношения дают возможность по одному известному тону определять числа колебаний всех других, то Совёр и вычислил эти величины для всех тонов вообще.

Вскоре затем *Брук Тэйлор* (1685—1731; с 1712 г. член Королевского общества) подошел к этой задаче чисто математически, пытаясь вывести число колебаний из заданных длины, веса и натяжения струны. В своем известном сочинении «*Methodus incrementorum directa et inversa*» (Лондон, 1715) он показал, что колеблющаяся струна имеет вид сильно «растянутой циклоиды» в том случае, когда все ее точки переходят положения равновесия одновременно, он доказал далее, что струна, имеющая длину L , вес Q и натяжение P , в течение времени одного качания маятника, имеющего длину D , делает

$$\pi = \sqrt{(D \cdot P / L \cdot Q)}$$

колебаний. Отсюда для числа n колебаний в 1 сек. следует:

$$n = \sqrt{(P \cdot g / L \cdot Q)}$$

что дает уже возможность при посредстве одной струны определить число колебаний любого тона. Однако по *своему исходному положению это исследование не имело общего значения*, так как струна не всегда обязательно колеблется как единое целое и не всегда все ее точки

¹ Ньютон воспользовался в позднейших изданиях своих «Начал» (II кн., 8 отд.) измерениями Совёра и сделал вывод, что длина волны всякого тона превосходит вдвое длину производящей этот тон открытой трубы. Он принял скорость распространения звука в 1070 парижских футов, и так как звук в течение одного колебания распространяется на длину волны, то последняя для тона в 200 полных колебаний в 1 секунду должна иметь около 10 футов длины, т. е. быть вдвое длиннее трубы, издающей соответственный тон.

одновременно переходят через положение равновесия. Струна может в одно и то же время колебаться и любыми частями и как целое. Колебаясь всею массою, струна издает свойственный ей основной тон, колебаясь частями — так называемые гармонические обертоны; наконец, колебаясь одновременно как целое и частями, она издает наряду с основным тоном также и обертоны. Тэйлор рассматривал только случай колебания всей струны целиком, и его определения верны только для этого случая. Лишь тридцать лет спустя эту задачу стало разрабатывать в общем виде целое поколение первоклассных математиков, как д'Аламбер, Эйлер и Даниил Бернулли, которые вели длинную дискуссию о формах, какие может принимать звучащая струна. Исследования эти были чисто математические и представляли по общей постановке вопроса большие аналитические трудности. *Экспериментальные же физики значительно раньше дошли до обобщения задачи*, так как было замечено, что струны сверх своего основного тона могут давать также и другие, более высокие.

Уже у Мерсенна мы встретим указание на обертоны; но еще определеннее наблюдались они *В. Ноблем* и *Т. Пиготом*, двумя учениками математика Валлиса, который опубликовал их исследования в 1677 г. в «Philosoph. Transactions». Мерсенну было известно также явление созвучия или резонанса; он наблюдал, что нередко звучащая струна приводит в колебание соседнюю. Нобль и Пигот натягивали подобные струны рядом и, настраивая их как основной тон и октаву, как основной тон и квинту октавы, или как основной тон и двойную октаву, убеждались, что на колебания более высоко настроенной струны соседняя отвечала тоже высоким тоном. Накладывая на струну бумажных наездников, они доказали, что при указанных выше условиях струна основного тона распадалась на две, на три или на четыре части. До Совёра обертоны удавалось наблюдать лишь посредством резонанса, он же получил их прямо, добившись того, чтобы струна переходила из основного тона в октаву. Прикасаясь к струне тонким телом, например, острием пера, по середине или в конце трети или четверти длины, он наблюдал переход основного тона в октаву, квинту и двойную октаву. Далее, накладыванием бумажек он доказал, что струна распадается при этом на две, три и четыре звучащие части. Производные тоны он назвал *гармоническими*, точки покоя — *узлами колебания*, а места наибольших размахов — *пучностями*. Тем самым было дано опытное объяснение возникновения гармонических обертонов в то время, когда мы воспринимаем один тон звучащей струны. Но хотя в это время предполагали — и Совёр уже занимался исследованием этого вопроса, — что *струна может издавать несколько тонов одновременно, именно: основной тон и несколько обертонов*, все же объяснить этого явления точно не удалось. Впрочем, и позднее это задало большую и трудную работу крупнейшим математикам.

Измерение числа колебаний различных тонов привело Совёра к вопросу о *пределах их слышимости*. По его наблюдениям трубки длиною в 40 футов и $\frac{5}{64}$ фута дают самый низкий и самый высокий из слышимых тонов. На этом основании пределами слышимости он принял промежуток от $12\frac{1}{4}$ до 6400 колебаний в секунду. Впоследствии эти

260 КОМБИНАЦИОННЫЕ ТОНЫ. СЕМЬЯ БЕРНУЛЛИ

границы значительно изменились, но Совёру принадлежит, тем не менее, заслуга постановки вопроса.

Возвращаясь еще раз к *звуковым биениям*, которые происходили у Совёра при одновременном звучании двух не очень сильно различающихся по высоте тонов, нужно заметить, что он пользовался ими для определения абсолютного числа колебаний тонов и старался, поэтому получить биения настолько редкие, чтобы их можно было считать. По этой причине он не заметил, что биения могут следовать с такой частотой, что они сливаются в тон. *Комбинационные тоны* (как их называют теперь) были открыты музыкантами-практиками. Знаменитый скрипач *Тартини* говорит в своем «Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonica» (Падуа, 1754) о комбинации двух тонов в *третий тон* и уверяет, что открыл его еще в 1714 г. Но печатно о комбинационных тонах высказывался еще раньше органист *Андрей Зарге* в своем «Anweisung zum Stimmen Orgeln» (Гамбург, 1744). Музыканты, конечно, не объяснили этих тонов и не знали их *тождества с биениями или толчками* Совёра. Только в 1759 г. *Лагранж* доказал это тождество в первой части записок Туринской академии и разъяснил, таким образом, это загадочное явление.

Открытие *дифференциального исчисления* и великое *физико-математическое творение Ньютона* постепенно оказывало все большее влияние на умы и, прежде всего, привело к тому, что отвлекло наиболее талантливых работников от опытной физики в область математической. Правда, на первых порах между этими работниками было еще мало согласия, потому что соперничество обоих творцов нового исчисления, Ньютона и Лейбница, перешло и на их последователей в лице англичан, с одной стороны, немцев и французов — с другой. Впрочем, эти разногласия, как происходившие на твердых основах математики, не только не запутывали дела, но подвигали его вперед, так что в конце сравнительно очень короткого периода, с победою партии Лейбница наступил мир. Победа, определившаяся более легкой применимостью исчисления Лейбница в сравнении с тяжеловесной теорией флюксий Ньютона, была выиграна, с другой стороны, благодаря членам одной семьи, занявшей выдающееся место в области математики, именно благодаря членам семьи Бернулли.

Базельский купец Николай Бернулли имел 11 человек детей, и двое из них, Яков и Иоганн, положили основание славе этой семьи *ЯКОВ I БЕРНУЛЛИ* (как его обозначают в отличие от последующих) родился 27 декабря (ст. стиля) 1654 г. в Базеле. Сначала он занимался математикой тайком, так как отец предназначал его для духовного звания, и он должен был выдержать экзамен по богословию. Позднее он совершил путешествие по Голландии, Англии и Франции, а в 1686 г. стал профессором математики в Базеле, где и умер 16 августа 1705 г. В начале научной своей деятельности Я. Бернулли занимался физикой еще больше, чем впоследствии, и *всю жизнь оставался убежденным последователем Декарта*. В сочинении «Dissertatio de gravitate aetheris» (Амстердам, 1683) он объясняет, подобно Декарту, *тяжесть* отталкиванием тонкой упругой жидкости, которую он называет *эфиром*; при этом он старается пополнить Декарта, сводя и твердость тел на давление

того же эфира. По его мнению, тела представляют большую или меньшую твердость, смотря по тому, насколько они богаты порами, в которые проникает эфир, противодействующий внешнему давлению. В правильности этого взгляда Бернулли до такой степени убежден, что в факте нераспадания твердых тел в пустоте он видел доказательство существования эфира, проникающего и в пустые пространства. *Волосное притяжение* он выводил тогда еще из давления воздуха. *Мариоттов закон* он считал правильным лишь до известных пределов, потому что частицы воздуха, по его мнению, имеют определенную величину и могут сжиматься лишь до взаимного соприкосновения. В 1685 г. он занимался вопросом о весе *атмосферы*, в 1688 г. — измерением *высоты облаков*, на основании продолжительности их окраски после захода солнца, а с 1686 г. — *определением центра качания тел*. Гюйгенсов принцип сохранения центром тяжести достигнутой однажды высоты казался ему недостаточно верным, и он старался решить задачу независимо от этого принципа. С этой целью им был поставлен на разрешение вопрос, не выравниваются ли скорости двух тяжелых масс в физическом маятнике, как в рычаге. *Лопиталь*, однако, указал, что такое предположение не соответствовало бы действительности, и Я. Бернулли уже в 1691 г. (а подробнее в 1703 и 1704 гг.) исправил свой метод определения центра качаний. Дифференциальным исчислением он стал заниматься тотчас по опубликовании его и решил при помощи этого нового способа целый ряд труднейших физико-математических проблем.

В 1687 г. по поводу спора, следует ли при измерении силы принимать в расчет время, Лейбниц иронически предложил картезианцам *найти кривую, двигаясь по которой тело в равные времена опускается на равные высоты*. Не дождавшись ответа в течение двух лет, он опубликовал в 1689 г. свое собственное решение, причем воспользовался старым синтетическим методом и пришел к тому же выводу, какой раньше получил Гюйгенс. Но Я. Бернулли доказал в 1690 г. при помощи нового счисления, что искомая кривая есть *полукубическая кривая или парабола Нейля*. Лейбниц назвал ее *изохроной* и предложил новую задачу: *найти парацентрическую изохрону*, т. е. такую кривую, чтобы тело, опускаясь на нее, *равномерно приближалось к какой-нибудь неподвижной точке*; и эта задача была решена Я. Бернулли в 1694 г., хотя и не в самом общем виде. П. Бернулли со своей стороны в 1690 г. предложил математикам на решение старый вопрос: *какой вид принимает горизонтально укрепленная на концах тяжелая, гибкая, но нерастяжимая нить*. В 1691 г. Гюйгенс, Лейбниц и братья Бернулли согласно нашли, что нить принимает вид *особенной, еще не исследованной кривой*, которую они назвали *цепной линией*. Впоследствии Я. Бернулли, расширив эту задачу, решил ее для случая, когда вес нити от точки до точки изменяется по некоторому определенному закону. В 1692 г. он занимался так называемой *упругой кривой*, т. е. линией, какую образует упругий стержень, закрепленный на одном конце, а на другом отягощенный грузом. В 1692 г. вместе с братом он впервые исследовал с общей точки зрения *фокусные линии различных отражающих и преломляющих кривых поверхностей*. Как уже было упомянуто, названия диа- и катакаустика были введены им. До 1695 г. оба брата работали вместе;

но с этих пор вслед за отъездом младшего на профессию в Гренинген дружеские отношения между братьями прекратились и затем они приняли крайне враждебный характер.

ИОГАНН БЕРНУЛЛИ родился в Базеле в 1667 г., и был, следовательно, почти на 13 лет моложе Якова. Математическое образование он получил у брата; 18 лет он был уже доктором, а в 1695 г. сделался профессором в Гренингене, откуда перешел по смерти брата в 1705 г. профессором в Базель, где и умер 1 января 1748 г. Нрава он был крайне строптивого, страстно любил спорить и в распри со старшим братом был гораздо более виноват, чем последний. В 1696 г. он предложил в «Acta eruditorum» математикам на решение задачу: *найти кривую (брахистохрону), падая по которой тело в наискратчайшее время перейдет от более высокой точки к более низкой, не лежащей ни на общей вертикали с первой точкой и ни на общей с ней горизонтальной плоскости*. В следующем году, наряду с решением самого Иоганна появились решения его брата Якова, Лейбница, Лопиталя и Ньютона, последнее в анонимном виде. Все определили путь точки как дугу циклоиды; но не всеми решениями Иоганн остался одинаково доволен. Работу брата он признал неудовлетворительной, а решение Ньютона, которого узнал по стилю, он превознес. Яков этим сильно обиделся и со своей стороны предложил брату несколько задач для испытания; отсюда возгорелась научная война между братьями, за которой мы, однако, следить не станем, так как она происходила исключительно на математической почве.

Несмотря на похвалу Ньютону в приведенном выше случае, Иоганн Бернулли всю свою жизнь состоял в дружбе с его противниками и боролся с его приверженцами. *Физику Декарта он защищал до конца своих дней; с Лейбницем он не только находился в оживленной переписке*¹ *вплоть до его смерти, но и мужественно защищал его против нападков англичан, как изобретателя дифференциального исчисления*. Уже в первом своем сочинении «Dissertatio deeffervescentia et fermentatione» (Базель, 1690) он рассматривает с картезианской точки зрения все случаи брожения и накаливания смешиваемых жидкостей. Тела разделяются на пассивные (щелочи), содержащие в промежутках между твердыми частицами сжатый воздух, и активные (кислоты), характеризующиеся частицами острой формы; последние при смешении с пассивными телами проникают в их промежутки, разрушают связь между частицами и освобождают воздух. Взрывчатая сила пороха объясняется совершенно так же: порох есть пассивное вещество, в которое проникают острые частицы огня и освобождают очень сильно сжатый воздух². С картезианской же точки зрения Иоганн Бернулли решил в 1730 г. выставленную Парижской академией на премию задачу о *физических причинах сжатия планет и движения их афелиев*, а в 1733 г.— другую задачу о *причине наклонения планетных орбит к солнечному экватору*. Против ньютоновского закона тяготения он выставил но-

¹ G. Leibnitii et Joh. Bernoulli commercium philosophicum et mathematicum» (Лозанна 1745).

² Как ни странно кажется нам эта теория, однако и Эйлер (Lettres a une princesse, Петербург 1768—1772, 13-е письмо) еще придерживается ее.

ПОЛЕТ ТЕЛА В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ 263

вое и не легкое возражение, что если тяготение исходит из малейших частиц материи и определяется их количеством, то тяготение между телами должно убывать пропорционально не квадратам, а кубам расстояний. При этом, однако, по поводу своей победы над молодым женевцем, *Габриэлем Крамером*, подавшим по первой из выставленных на премию задач работу, основанную на ньютоновских воззрениях, он заявил, что своей победой он обязан исключительно тому, что лучше Крамера воспользовался вихрями Декарта, *которые все еще находятся в большом почете у ученых судей*.

С 1699 г. Иоганн Бернулли состоял членом Парижской академии, а с Лондонским королевским обществом почти всегда находился в состоянии войны. *Давида Грегори* по поводу его сочинения о цепных линиях он уже в 1697 г. обвинил в плагиате, а позднее он в том же обвинил и *Тейлора*. В 1714 г. Иоганн Бернулли издал сочинение «*De natura centri oscillationis*», выводы которого были основаны полностью на законе сохранения живой силы и где было доказано, что, вообще говоря, центр качания и центр удара отличаются друг от друга и совпадают лишь в отдельных специальных случаях. Спустя год после того *Брук Тейлор* решил в своем «*Methodus incrementorum*» ту же задачу, и это навлекло на него обвинение в плагиате. В эту пору спор с Бернулли сделался для англичан почти делом национальной чести, но новый Гораций Коклес не только выдерживал натиск целой армии, но время от времени даже одерживал блестящие победы над теми из противников, которые зарывались слишком вперед. Ньютон в своих «Началах» определил *линию полета брошенных тел* лишь для случая, когда сопротивление среды пропорционально скорости, но *оставил неразрешенным более важный случай, когда сопротивление пропорционально квадрату скорости*. Джон Кейль, профессор философии в Оксфорде (1671—1721), открывший в 1708 г. своей брошюрой *спор о первенстве между Ньютоном и Лейбницем*, «солдат скорее задорный, чем храбрый», захотел сразить Иоганна Бернулли и предложил ему в 1718 г. на решение задачу, которой не решил сам Ньютон. Сверх всякого ожидания ответ был вскоре готов: Бернулли *определил линию полета* не только для случая сопротивления пропорционального квадрату, но и — любой степени скорости. Свое решение он держал сначала в тайне и вызывал противника опубликовать его собственные исследования. Но тот молчал, и хотя впоследствии Бернулли открыто утверждал, что Кейль не был в состоянии решить задачи, им самим предложенной, этот последний продолжал хранить молчание. Свое решение Иоганн Бернулли опубликовал одновременно с решением той же задачи его племянником Николаем Бернулли в 1719 г. Теоретически задача была таким образом решена; но практика, как увидим впоследствии, от этого еще мало выиграла. Выражения, определяющие линию полета, были очень сложны, многие интегралы не допускали общего интегрирования, к тому же действительный закон сопротивления воздуха не было точно выяснен. Еще раньше Иоганн Бернулли дополнил «Начала» Ньютона и по другому вопросу. Выше мы видели, что Ньютон не смог доказать, что согласно его закону тяготения, тела, притягиваемые к точке, должны двигаться

264 БАРОМЕТР ИОГАННА БЕРНУЛЛИ

по кривым коническим сечений. При помощи нового исчисления Иоганн Бернулли доказал это положение в самом общем виде.

Главной сферой деятельности этого ученого была математика. Как математик Иоганн Бернулли сыграл очень видную роль в умственном движении своего времени, и некоторые важные отрасли математических знаний, например, интегральное исчисление, обязаны своим развитием преимущественно его работам. *В математической же физике он ограничился почти исключительно вопросами механики. По оптике имеется лишь его исследование фокусных линий* да, кроме того, попытка вывести закон преломления из чисто механических основ. В начале своей карьеры он, правда, интересовался некоторыми вопросами опытной физики, но работы его в этом направлении не могут идти в сравнение с прочими его достижениями.

Упомянем еще о некоторых работах Иоганна Бернулли, стоящих особняком. В своем «Discours sur les lois de la communication du mouvement» («Par. Mém.», 1727) он выводит законы удара упругих тел из начала сохранения живых сил, а также разбирает случай *косого удара. Упругость тел он объясняет вообще напором эфирных вихрей*, стремящимся раздвинуть твердые частички тела. К упомянутому выше трактату о светящемся барометре присоединился в 1719 г. новый — *о светящейся ртути*. Он подробно описал свойства этого свечения, и это явление тоже *объяснил действием эфира, проникающего в пустоту через стенки стекла и вызывающего здесь свечение*. Новый предложенный им барометр получил большое распространение¹. Он состоял из отвесной барометрической трубки, которая снизу переходила в горизонтальное колено. Здесь трубка была значительно уже, чем в верхней отвесной части; поэтому колебания уровня ртути передавались в нижние колена значительно усиленными. Тем не менее, чувствительность прибора была незначительна, а конструкция была неудобна для переноски и, подобно другим видам барометра, в которых заботились об увеличении колебаний уровня ртути, она вышла из употребления, когда ввели шкалы с мелкими делениями и стали употреблять для отсчета *катетометры*².

Потребности мореплавания постоянно вызывали в Англии интерес к магнитным наблюдениям и содействовали развитию теории магнетизма, по крайней мере, в определенном направлении. Между наблюдателями следует на первое место поставить *Грегама*, который изложил в «Philosoph. Transact.» 1724 г. результаты своих тщательных наблюдений под заглавием: «Observations made on the variation of the horizontal needle at London 1722—1723». *ДЖОРЖ ГРЕГАМ* родился в 1675 г. в Кумберленде, поступил в ранние годы учеником к знаменитому лондонскому часовщику *Томпиону* и настолько прославился как механик

¹ *Gehler*, I, стр. 774-775.

² Стефан Грэй описывает в «Philosoph. Transactions» уже в 1698 г. прибор, отличавшийся от нашего теперешнего катетометра лишь тем, что в нем вместо зрительной трубки находится микроскоп; другими словами, — тем, что отсчитывание совершается в непосредственной близости от прибора. Катетометр с зрительной трубкой и очень коротким масштабом был описан в 1817 г. Дюлонгом и Пти. В общее употребление катетометры были введены Реньо (*Gerland*, Bericht üb. die wissenschaftl. App., стр. 14 — 16).

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ 265

и часовщик, что в 1728 г. сделался членом Королевского общества, а после смерти в 1751 г. заслужил чести погребения в Вестминстерском аббатстве.

В названном сочинении он констатирует, что *склонение магнитной стрелки изменяется почти непрерывно; что колебания приблизительно в $1/2^\circ$ повторяются каждый день периодически и что в суточных колебаниях всегда есть maximum и minimum*. Точно так же и в наклонении магнитной стрелки, равно как в силе земного магнетизма, Грегам подметил постоянные незначительные колебания, но периодичности этих изменений констатировать не мог. До него последние два вида колебаний вообще мало обращали на себя внимание, так как они не представляли практического интереса. Прежде было распространено мнение, что наклонение по всему экватору равно нулю и что в северном полушарии оно северное, а в южном — южное; но уже в 1700 г. наблюдения *Кеннингэма* и в 1706 г. наблюдения иезуита *Франсуа Нозля*, совершившего поездку в Индию, показали неправильность такого мнения. *Существовавшая теория магнетизма не могла еще, конечно, объяснить этих новых фактов*. Мы видели, к какому искусственному построению должен был прибегнуть Галлей, чтобы объяснить одни лишь вековые изменения отклонения; как же было справиться с непрерывными маленькими колебаниями стрелки. *Тогдашняя теория магнетизма была основана на картезианских началах, и таковой она оставалась еще долгое время*. Один только *Филипп Виллемс* в его «Nouveau systeme ou nouvelle explication du mouvements des planetes» (Лион, 1707) несколько видоизменил учение Декарта, высказав мысль, что магнитная материя, истекающая из земного полюса, описывает спиральные линии, и пытался объяснить таким образом хотя бы постоянное отклонение магнитной стрелки. Теории притяжения Ньютона была перенесены на магнетизм лишь после великих открытий в области электричества, да и то, по крайней мере, в отношении земного магнетизма, по началу с небольшим успехом.

Помимо открытия суточных периодов магнитного склонения Грегам имеет еще много других заслуг в области физики. Он первый нашел способ точного *деления круга* и устроил для Гринвичской обсерватории большой стенной квадрант, при посредстве которого *Брадлей* открыл аберрацию света. Но главная его заслуга состояла в *усовершенствовании часов*. Чтобы уменьшить трение он стал *вешать маятник острием на твердые стальные опоры, изобрел анкерное регулирование и компенсацию* маятника. Уже в 1715 г. он пытался устранить или, по крайней мере, ослабить изменение длины маятника от действия тепла. С этой целью Грегам стал заменять сначала металлические стержни маятника деревянными, подверженными в меньшей степени расширению; затем, ввиду различных неудобств этого способа, он попытался делать стержень из нескольких металлов с различными показателями расширения. Но и эта мысль была им оставлена в 1721 г. в пользу *компенсации ртутью*, оказавшейся наиболее удовлетворительной. Этот способ описан им, в статье «A contrivance to avoid the irregularities in a clock's motion occasioned by action of heat cold on a pendulum rod» («Phil. Trans.», 1726). Компенсацию различными металлами, т. е. устройство уравни-

266 ТЕРМОМЕТРЫ С СОГЛАСНЫМИ ПОКАЗАНИЯМИ

тельного маятника, довел до конца другой мастер, *Джон Гаррисон* (1693—1776) в период между 1725—1737 г. Он же комбинацией двух металлов добился независимости баланса *корабельных часов* от колебаний температуры. Грегам первым стал рекомендовать часы Гаррисона и всячески помогал ему, когда тот явился в Лондон неизвестным бедняком.

При устройстве компенсации Гаррисон постоянно имел в виду цель *приспособить часы к определению географических долгот на море*; в 1765 г. заслуга его была признана английским парламентом и ему была выплачена за решение этой задачи половина суммы премии, установленной еще в 1715 г., а именно 10 000 фунтов. Гаррисон выполнил, таким образом, задачу часовщика, а астрономическая работа определения долготы на море выпала на долю двух немцев. *Эйлер* получил от того же парламента 3000 фунтов за свое исправление теории движения Луны, а наследники *Иоганна Тобия Майера* получили столько же за составленные их отцом по теории Эйлера лунные таблицы.

Первым мастером, достигшим давно поставленной и до тех пор еще не осуществленной цели устроить согласные по своим показаниям термометры, был **ДАНИЭЛЬ ГАБРИЭЛЬ ФАРЕНГЕЙТ**. Он родился в Данциге 14 мая 1686 г. и предназначался для торговой деятельности, но в торговле ему не посчастливилось, и он обратился к занятиям физикой, которые были ему более по душе. Большую часть своей жизни он провел в Голландии, где работал стеклодувом и занимался приготовлением физических инструментов. Он умер в Голландии 16 сентября 1730 г. Известен он стал благодаря *Христиану Вольфу*, который в специальной статье («Acta eruditorum», 1714) «Relatio de novo thermometrorum concordantium genere» сообщал, что он получил в этом году от Фаренгейта два спиртовых термометра с совершенно согласными показаниями. Вольф полагал, что такое согласие обуславливалось особыми свойствами применяемого спирта, и Фаренгейт долго не разъяснял загадки, пока, наконец, в 1724 г. не изложил своего способа в «Philosoph. Transactions». Согласно спиртовые термометры он готовил уже с 1709 г., но с 1714 или 1715 г. под влиянием исследований Амонтонна над расширением ртути он стал делать ртутные термометры¹.

Своим термометрам он придавал различные шкалы. Последняя из них, от 0 до 212°, употребляется до сих пор в Англии и Америке. Согласно их описанию, для градуирования термометров он погружал их сначала в смесь воды, льда и нашатыря или поваренной соли, обозначая точку, на которой останавливался спирт (соответствующую почти самому сильному холоду суровой зимы 1709 г.), 0°; затем термометр переносился в смесь льда и воды; точка замерзания воды обозначалась 32°, и расстояние между обеими точками делилось на 32 равных части. Для проверки Фаренгейт определил теплоту крови, помещая термометр человеку в полость рта или под мышку. Эта точка обозначалась 96°. Отсюда следует, что точкой кипения воды он еще не пользовался, да

¹ Два прекрасно сделанных ртутных термометра Фаренгейта сохраняются в Лейденском физическом кабинете

ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ ВОДЫ. ТЕРМОБАРОМЕТР 267

его ранние термометры и не достигали еще таких температур. Но после напечатания своего трактата в 1724 г. он уже обозначает на своих термометрах точку кипения воды в 212°; некоторые полагают, что он пользовался ею для градуирования и раньше, но скрывал этот важный факт из эгоистических расчетов¹.

В статье 1724 г. Фаренгейт описывает явление, которое можно назвать *переохлаждением воды*. В 1721 г. он проделал следующий опыт: наполнив стеклянный шар (около дюйма в диаметре с выводной трубкой длиной в 2—3 дюйма) водой, он вскипятил ее, быстро запаял выводную трубку шара и выставил шар на ночь на 15-градусный мороз. Утром следующего дня он нашел воду в шаре в жидком состоянии, но как только он отломал запаянный конец выводной трубки, вода очень быстро замерзла. Последнее он приписал сначала действию проникшего в шар воздуха, но позже заметил, что замерзание происходит от сотрясения, потому что оно наблюдалось и при встряхивании запаянного шара. *Сипи термометр Фаренгейт предложил употреблять и качестве барометра*. Подобно Папену, он заметил, что вообще под колоколом воздушного насоса вода кипит при более низкой температуре, и сверх того установил, что любому обычному колебанию воздушного давления соответствует изменение температуры кипения. Поэтому он предложил в «Description on a new barometer» («Philos. Transactions», 1724—1725) определять колебания воздушного давления по изменению температуры кипения. Однако эта мысль возродилась лишь в нашем столетии благодаря Уолластону, и использована была, прежде всего, для определения высот.

Наконец, следует еще упомянуть об *усовершенствовании* Фаренгейтом *весового ареометра*. Согласно Герлянду («Ber. üb. d. wissensch. Appar.», стр. 27) этот прибор был придуман не *Бальтазаром Монконис* (1661—1665), как обыкновенно утверждают, а *Робервалем* еще ранее 1664 г. Он состоял из стеклянного шара, наполовину наполненного ртутью, с короткой запаянной трубкой. На трубку надевались кольцеобразные грузы до полного погружения прибора в жидкость вплоть до его верхушки. Неправильность показаний происходила оттого, что грузы, погружившись в воду, теряли в весе. Фаренгейт как искусный стеклодув снабдил трубку особой тарелочкой, таким образом грузы оставались над водой, погружая инструмент до определенной постоянной черты на трубке. Этим путем был устранен указанный источник ошибок.

Упомянутый выше Вольф² издал в 1721 г. сочинение «Allerhand nützlich Versuche zur genaueren Kenntniss der Natur und der Kunst», в котором он пространно говорит о теплоте и ее сущности. Его рассуждения интересны в том отношении, что в них уже изложены те взгляды на теплоту, которые господствовали еще в недавнее время. *Теплота является особым веществом, переходящим от одного тела и другому*. Тепловое вещество собирается в мельчайших промежутках между частицами тел, в одних больше, в других меньше, смотря по

¹ *Gehler*, Physical. Wörterbuch, IX, стр. 859-862.

² Христиан фон Вольф (1679—1754), известный основатель лейбнице-вольфовой философии.

268 ТЕПЛОВОЕ ВЕЩЕСТВО. О ЗАМЕРЗАНИИ ВОДЫ

природе тел. Тело с большими грубыми промежуточными пространствами не может быть очень теплым, не может быть теплее воздуха, который окружает тело и проникает в его поры. *Само по себе тепловое вещество не теплое; оно вызывает чувство теплоты, лишь находясь в движении.* Когда два вещества смешиваются друг с другом, частицы их приходят в движение; поэтому неудивительно, что при смешениях и растворениях развивается тепло. Но когда растворяют в воде селитру, часть тепла переходит из воды в последнюю, оттого вода становится холоднее. Сквозь гипотезу о нетеплом тепловом веществе просвечивает столь долго применявшееся понятие *скрытой теплоты*. До этой мысли Вольф, однако, еще не додумался, иначе ему не пришлось бы прибегнуть к предположению, что соль холоднее воды и потому поглощает тепло из последней.

Подобно Вольфу, изменениями состояния тел под влиянием теплоты много занимался Жан Жак д'Орту де-Меран (родился в 1678 г. в Безьере, умер в Париже в 1771 г.), бывший с 1718 г. членом, а с 1741 г. секретарем Парижской академии. Он был усердным последователем Декарта и все явления природы объяснял его началами. В 1710 г. появилось его сочинение «Dissertation sur la glace», увенчанное академией в Бордо, пережившее много изданий и переведенное на немецкий язык в 1752 г. Объяснения явлений посредством искусственных положений картезианского стиля не вызывают большого интереса, но в этом сочинении имеется много ценных наблюдений над замерзанием и соприкасающимися с ним явлениями. *Причин расширения воды при замерзании* Меран приводит три: *воздушные пузыри*, заключенные во льду; *разрыхление льда* выходящим из него при замерзании воздухом и, наконец, *лучистое расположение частиц льда*, происходящее оттого, что *ледяные иглы располагаются под острыми углами друг к другу*. Факт испарения льда, особенно при сильном ветре, известен Мерану; он объясняет его толчками воздушных частиц, уносящими с собою частицы льда. Тот факт, что *холод в конце зимы, перед наступлением таяния, наиболее ощутителен*, он считает обманом чувств, который опровергается термометром; однако причина такого обмана заключается в том, что в это время в воздухе носится множество пузырьков воды и ледяных игл, которые, прилегая к коже плотнее, чем воздух, производят чувство охлаждения. Когда после сильного мороза наступает оттепель и стены покрываются инеем, то это *происходит не оттого, что из стены выступает влажность, а вследствие замерзания на стене влаги, содержащейся в воздухе*. В трактате его о ветрах, заслужившем премию Бордоской академии в 1715 г., он пытается объяснить *колебания барометра действием ветров*. Впоследствии он подвергся сильным нападкам по поводу этой работы.

В рассматриваемое время физики-экспериментаторы еще занимались старыми вопросами: с половины прошлого столетия, после великих флорентийских экспериментаторов, после Герике, Бойля и др., опытная физика еще не наметила новых целей и не обогатилась ни единым исследованием, которое составило бы эпоху в области теоретической физики. Математика и математическая физика привлекли тогда к себе лучшие умственные силы, и вместе с тем наибольшую славу. Время от времени

ПРОВОДИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 269

появлялись, правда, работы по электричеству, напоминавшие ученым об этой таинственной области: но людям, привыкшим двигаться по проторенным путям, было нелегко свернуть на новые пути; поэтому даже столь важные исследования, как опыты Грея и Дюфэ, о которых мы сейчас здесь будем говорить, далеко не возбудили должного интереса в современниках, — такого, какой выпал например, в свое время на долю открытия воздушного насоса.

СТЕФЭН ГРЕЙ (1670—1736) ¹, член Лондонского королевского общества, исследуя в 1729 г. вопрос, изменяется ли характер электрических явлений на стеклянной трубке, если она при натирании открыта или закрыта с обоих концов, заметил, к своему удивлению, что легкие тела притягиваются не только трубкой, но и пробками, которыми заткнута трубка. Воткнув затем в пробку сосновую палочку в 4 дюйма длины, с шариком из слоновой кости на свободном конце, он нашел, что и шарик наэлектризовался. Явление оставалось тем же, когда палочка была заменена более длинной проволокой, или шарик был связан с пробкой бечевкой; не изменилось оно и тогда, когда Грей с балкона своего дома спустил шарик почти вплоть до земли на высоту 26 футов. Электричество, следовательно, распространилось по бечевке вниз. Желая видеть, распространяется ли оно и горизонтально, Грей придал бечевке и горизонтальное положение, удерживая ее свободный конец (с шариком) другой бечевкой, спускавшейся отвесно с крыши. При этом шарик оказался незаряженным, и электричество перешло на крышу. Грей пожаловался на эту неудачу своему другу Уилеру (духовное лицо и тоже член Королевского общества, умер в 1770 г.), и оба они повторили опыт с тем же результатом. Тогда Уилер посоветовал прикрепить бечевку к крыше не прямо, а посредством шелковинки, полагая, что по тонкой нити электричество не так легко уйдет. Опыт сначала оправдал его предположение; но когда однажды шелковая нить оборвалась и была заменена тонкой медной проволокой, последняя оказалась способной отводить электричество. Впоследствии, из дальнейших опытов Грей убедился, что суть дела заключается *не в толщине нити, а в ее веществе*. Именно он нашел, что *в отношении проводимости электричества с шелком схожи волосы, смолы, стекло и некоторые другие тела*. Этими свойствами он и воспользовался, чтобы удерживать электричество на телах. По его словам, последнее удавалось ему иногда в течение 30 дней. Хотя мысль о сохранении электричества и не была сама по себе плодотворной, но она все-таки *повела к позднему открытию усиленной (Лейденской) банки*.

Грей, по-видимому, немного занимался пояснительными опытами, но тем усерднее он старался вместе со своим другом Уилером расширить сферу своих наблюдений. *Подвесив ребенка на шнурах из волос, он нашел, что тело его принимало заряд и проводило электричество*; то же самое получалось, когда ребенок ставился на смоляной диск. *Различные тела, по его наблюдениям, принимают различное количество электричества; но массивный куб из дубового дерева принимает не бо-*

¹ Уилер, друг Грея, говоря о последних его опытах перед смертью, последовавшей в 1746 г., замечает, что в то время Грею было 66 лет. Значит, он родился в 1670 или 1669 г.

270 РАЗЛИЧНЫЕ ОПЫТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

лее, чем полый куб таких же размеров, хотя электрические истечения и проходили, по-видимому, через всю толщу куба. Он же заметил, наконец, что магнитные и электрические истечения нисколько не мешают друг другу: *наэлектризованный ключ притягивает легкие тела совершенно, одинаково, независимо от того, притягивается ли он сам в это время магнитом или нет*. Свои работы Грей опубликовал в «Philosoph. Transactions» в 1731 и 1732 гг. Они обратили внимание Дюфэ на электрические явления, и последний продолжил опыты Грея с еще более блестящими результатами.

Шарль Франсуа де-Систерне Дюфэ родился в Париже 14 сентября 1698 г. и в ранней молодости поступил на военную службу, но скоро оставил ее по слабости здоровья, а также в связи с наступлением периода мира, и стал заниматься естественным и науками. В 1732 г. он сделался директором Jardin des plantes и довел его до блестящего состояния. Однако уже ранее того он много занимался физикой и не оставил этих занятий, получив директорство. Умер он в 1739 г., не достигнув 41 года. Работы его были помещены в мемуарах Парижской академии, членом которой он состоял с 1723 г. *Электрические исследования Дюфэ появились в промежутке между 1733 и 1737 гг. В первом из них изложена краткая история электричества до 1732 г.*

Подтвердив большую часть результатов Грея, Дюфэ некоторые из них исправил. Так, он доказал, что *цвет тел не играет роли при заряджении их электричеством*. Занимаясь, подобно Грею, вопросом, какие тела способны принимать всего больше электричества, он, как ему показалось, заметил, что этим свойством обладают те из них, которые при трении не электризуются. При этом Дюфэ пользовался первой примитивной формой *электроскопа* в виде изолированно подвешенных шелковых бумажных или шерстяных нитей, которые расходились при сообщении им электричества. *Он наблюдал, далее, электрическую искру, которой Грей не видал, и умел извлекать ее даже из изолированного человеческого тела*. С этой целью он сам ложился, на шелковые шнурки и наэлектризовывал свое тело настолько сильно, что приближение посторонней руки на расстояние одного дюйма вызывало искры из лица, рук, ног и платья. Искры сопровождалась треском и легкой-колющей болью, как для наэлектризованного лица, так и для экспериментатора. Аббат Нолле, присутствовавший при большинстве опытов Дюфэ, пишет, что он никогда не забудет ужаса, объявшего его и Дюфэ, когда из человеческого тела была извлечена первая электрическая искра.

Грей признал без зависти результаты Дюфэ и, повторяя его опыты, напал на очень странную мысль, которую нельзя не упомянуть. При своих опытах с отталкиванием легких тел он подвешивал их на нити и, держа последние в руке, приближал тела к наэлектризованному железному шару. При этом он, по его словам, установил, будто *легкие тела отталкиваются не по прямой линии, а начинают вращаться вокруг шара всегда в одном и том же направлении, именно в том, в каком планеты обращаются вокруг солнца*¹. На этом факте он собирался основать

¹ „On the revolutions which small pendulous bodies, by electricity, make round larger ones from west to east, as the planets do round the sun" («Phil. Trans.», 1736).

ДВА ЗАКОНА УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ 271

теорию движения планет, но умер, не успев изложить своей теории. Уилер и Дюфэ тщетно старались получить те же результаты, и первый стал, наконец, догадываться, что, вероятно, у его старого друга дрожала рука и тем сообщала отталкиваемым телам необходимую для вращения боковую скорость. Неудивительно, что Грей увлекся таинственным отталкиванием наэлектризованных тел, подобно тому, как в начале XVII в. увлекались в связи с тем же вопросом (т. е. объяснением движения небесных тел) магнетизмом; но это, конечно, показывает, поскольку к тому времени уже существовала механическая теория Ньютона, что последнюю понимали или признавали не все еще физики-экспериментаторы того времени.

Главная заслуга Дюфэ заключается в том, что он с помощью индукции вывел из своих многочисленных опытов *два закона*, которые впервые внесли некоторый порядок в сбивчивое разнообразие явлений и до настоящего времени служат основными фактами в учении об электричестве. Из того как Дюфэ говорит о своих выводах, ясно, что он сознавал их важное значение. *«Я открыл очень простой принцип, объясняющий большую часть всех аномалии и странностей, которыми сопровождаются обыкновенные электрические явления. Этот принцип заключается в том, что все наэлектризованные тела притягивают те тела, которые не наэлектризованы, и наоборот, отталкивают их, как только притягиваемое тело, от приближения ли или соприкосновения, в свою очередь, наэлектризовывается.* Прилагая это правило к различным опытам, можно объяснить громадное количество темных загадочных явлений». «Случай навел меня в моих исследованиях на другой принцип, еще более замечательный и более общий, чем предыдущий, — принцип, который бросает совершенно новый свет на этот вопрос. Этот принцип состоит в том, что *имеется два существенно различных вида электричества; одно из них я назову стеклянным, а другое смоляным. Первое появляется на стекле, драгоценных камнях, волосах, шерсти и пр., а другое на янтаре, гуммилаке, шелке и т. д. Отличительным признаком обоих электричеств служит то, что однородные электричества отталкиваются, а разнородные взаимно притягиваются.* Замечательно, что последний вывод не получил тотчас же должного признания и был установлен позже, без упоминания заслуги Дюфэ.

После Грея электричеством занимался также Жан Теофил Деэагюлье (1683—1744 г.), теолог, профессор физики в Оксфорде, читавший лекции по физике во многих других местах и под конец сделавшийся капелланом принца Уэльского. Его труды помещены в «Philos. Trans.» в 1739—1742 гг. Он первый назвал тела, не электризующиеся, по его мнению, от трения, *проводниками* и разделил соответственно этому все тела на *электрические по природе и на проводники*. Первые не принимают электричество от других тел и отдают свое собственное не сразу, а лишь в местах, к которым прикасаются, тогда как проводник теряет от прикосновения все электричество сразу. Сухой воздух он причислил к непроводникам, т. е. электрическим телам по природе.

Деэагюлье принимал участие во многих опытных исследованиях, но *науке он послужил больше участием в чужих открытиях и распространением научных знаний, чем собственными открытиями.* Благодаря

272 ДАНИИЛ БЕРНУЛЛИ. ЭЙЛЕР

открытия Грея и Дюфэ получили значительное распространение. Его «Cours of experimental philosophy» (Лондон, 1717) появлялся до 1763 г. во многих изданиях и переводах, а его «Dissertation sur l'electricité» было увенчано премией Бордоской академии в 1742 г.

В то время как опытная физика приступила к завоеваниям в новой, до того времени почти сказочной области, математическая физика тоже твердо шла вперед. *Старые синтетические геометрические методы*, которыми почти исключительно пользовался Гюйгенс, а также и Ньютон, были оставлены. *Всю эту область завоевал новый анализ*. Получив в руках первых Бернулли мощное развитие, он несколько позднее, когда на сцену выступило новое поколение математиков с Даниилом Бернулли, Эйлером и д'Аламбером во главе, сделался самой плодотворной основой для всей математической физики.

ДАНИИЛ I БЕРНУЛЛИ, сын Иоганна I, родился 29 января (ст. стиля) 1700 г. в Гренингене. После долгого пребывания в Италии он отправился с братом Николаем II во вновь основанную Петербургскую академию. Брат его Николай умер там же в следующем году, да и сам Даниил вернулся из-за расстроенного здоровья в 1733 г. в Базель. Здесь сначала он был профессором анатомии и ботаники, а в 1750 г. профессором физики и философии. Умер он в Базеле в 1782 г.

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР (родился 15 апреля 1707 г. в Базеле) получил первоначальное математическое образование у своего отца Павла Эйлера, священника в дер. Риген около Базеля, учившегося математике у Якова I Бернулли. Леонард предназначался тоже для духовного звания; но когда он обратил на себя внимание Иоганна Бернулли и стал брать у него частные уроки, эта мысль была оставлена. После того как молодые Бернулли получили приглашение в Петербург, «они употребили столько же усилий для того, чтобы приблизить к себе своего страшного соперника (Эйлера), сколько их употребляют обыкновенные люди для удаления такового». Не находя места в Базеле, Эйлер действительно в 1727 г. переехал в Петербург. Здесь он в 1730 г. занял место профессора физики при академии, а в 1733 г. место своего друга, Даниила Бернулли — кафедру высшей математики. Усиленные занятия довели его в 1735 г. до сильной горячки, которая кончилась потерей правого глаза. В 1741 г. он переехал в Берлин директором математического класса академии, но в 1760 г. вернулся в Петербург. В этом же году он почти потерял зрение и на левый глаз, так что мог различать лишь крупные меловые знаки на черной доске. Это, однако, не прервало его научных трудов: умственные силы он сохранил до конца жизни. 7 сентября 1783 г. за обедом он беседовал еще с Лекселлем о новой планете (Уране), а во время игры с внуками за чаем у него вдруг выпала из рук трубка, «и он перестал вычислять и жить». Эйлер был женат два раза и имел от первого брака тринадцать детей, из которых восемь умерли в ранних голах. Трое его сыновей заняли видное положение в обществе, особенно старший, следовавший не без славы по стопам своего отца. Посмертными трактатами Леонарда Эйлера еще многие годы заполнялись мемуары Петербургской академии.

Исследования Даниила Бернулли и Эйлера соприкасались очень часто, и оба великие математика не всегда были согласны между собой, но это

ни разу не привело их к враждебным спорам. Далеко не столь гладки были отношения между Эйлером и третьим основателем аналитической механики — д'Аламбером. *ЖАН ЛЕ-РОН Д'АЛАМБЕР* младенцем был найден подброшенным на ступенях парижской церкви Jean le Rond 17 ноября 1717 г. и взят на воспитание женою стекольщика Аламбера. Будущий математик занимался сначала теологией (как янсенист), потом для заработка юриспруденцией, но вместе с тем со всей энергией отдавался занятиям по математике и математической физике. В 1741 г. он как математик сделался членом Французской академии, и в 1756 г., в виде особого отличия, он был назначен пенсионером академии со значительным содержанием. Своим участием в редактировании сочинения «Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers» (Париж, 1751—1780), равно как своими популярными философскими сочинениями, он нажил себе многочисленных врагов. Несмотря на это, он не покинул Франции, даже когда в 1763 г. получил от Фридриха II приглашение на место президента Берлинской академии, а от Екатерины II приглашение занять место воспитателя при наследнике престола Павле на самых блестящих условиях. В 1772 г. д'Аламбер сделался секретарем Французской академии; умер он 29 октября 1783 г. в Париже.

Эйлер открыл ряд упомянутых выше аналитических работ своей «Mechanica sive motus scientia analytice exposita» (Петербург, 1736), где, как сказано в предисловии, задачи, разрешавшиеся предшественниками, как Ньютон и Германн¹ синтетически, были им разработаны исключительно *аналитически*. Сочинение это не содержит статик и трактует в обеих книгах о *движении материальной точки*. Первая из них рассматривает движение свободной точки, вторая — движение по заданной траектории. При этом Эйлер разлагает движение по различным направлениям, сообразуясь с особенностями отдельных задач, применяя очень часто разложение по касательной и нормали. *Проектирования движения на систему трех неподвижных взаимно-перпендикулярных координатных осей он в то время еще не применял; этот прием был впервые изложен К. Маклореном* (1698—1746), профессором математики в Абердине и Эдинбурге, в его знаменитом математическом сочинении «A complete system of fluxions», 1742 г.²

В механике Эйлера речь идет еще о движении отдельных точек, но в это время уже стали заниматься *системами точек, каким-либо образом связанных друг с другом или действующих друг на друга*. В этих проблемах динамические и статические отношения переплетались более сложным образом, чем в случае движения точки по определенному пути, так как при существовании связи между точками, последние были подчинены более разнообразным связям, чем в первом случае. Каким образом действовали эти связи, это не было выяснено и составляло предмет споров. Поэтому, прежде всего, старались найти общие принципы, которые давали бы возможность аналитически выразить действие связей. В этом особенно посчастливилось д'Алам-

¹ „Phoronomia, seu de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum, Амстердам, 1716.

² Lagrange, Mécanique analytique, Париж, 1788, стр. 165.

беру. В своем «Traité de dynamique» (Париж, 1743) он устанавливает принцип, по которому все уравнения движения сводятся на условия равновесия. Этот *принцип д'Аламбера* (корни которого уже можно найти в исследованиях Якова Бернулли о центре качания) гласит: *если на систему связанных каким-либо образом точек действуют силы, то часть последних выявляется, производя движение; другая же часть уравнивается существующими между точками связями и теряется. При этом утерянные силы действуют так, что если бы они одни были приложены к точкам системы, то они в любой момент поддерживали бы равновесие. Из условий этого равновесия и вытекают уравнения движения всей системы.* На основании этого принципа д'Аламбер объявил, как мы уже упоминали, спор о сохранении сил не имеющим значения; но и при посредстве принципа д'Аламбера уравнения все еще получались с большим трудом; эти трудности были устранены лишь впоследствии настоящим основателем нашей аналитической механики, *Лагранжем*.

Гидродинамика тоже получила около 1740 г. научное аналитическое основание в сочинении Даниила Бернулли «Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii» (Страсбург, 1738), где уравнения движения жидкостей были выведены при посредстве общего *принципа сохранения живой силы*, согласно которому часть жидкости приобретает при падении такую скорость, которая достаточна для обратного поднятия ее на высоту, с которой она упала. Отец его *Иоганн Бернулли* не вполне был согласен с непосредственным приложением указанного принципа и вывел эти результаты другим методом. Так же поступил и Маклорен в упомянутом выше сочинении; но выводы обоих, не будучи более строгими, чем у Даниила Бернулли, были менее ясными. Д'Аламбер в своих гидродинамических исследованиях воспользовался собственным принципом и результаты изложил в «Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides» (Париж, 1744). Впрочем, эта работа не вполне удовлетворяла его самого, и он до конца жизни старался пополнить ее. Так, в 1752 г. появился его «Essai d'une nouvelle théorie sur la résistance des fluides»; затем тому же вопросу был посвящен ряд статей в его «Opuscules mathématiques» (Париж, 1761—1768).

Динамика *упругих жидкостей*, главным образом *теория постоянных ветров*, в свою очередь занимала физиков того времени. В 1746 г. Берлинская академия объявила премию за решение вопроса: *найти закон, которому следовал бы ветер, в случае, если бы земля была сплошь окружена водой.* В «Reflexions sur la cause générale des vents», сочинении очень ценном с математической стороны, увенчанном премией, д'Аламбер объясняет (впрочем, не вполне удовлетворительно) пассаты исключительно как *воздушные приливы*, производимые наподобие морских приливов, притяжением Солнца и Луны. Гадлей¹ уже в 1735 г. («Philos. Trans.») дал пассатам то самое объяснение, какое принято в настоящее время, но оно осталось, по-видимому, мало известным.

¹ По Поггендорфу (Biogr. liter. Handwörterb., I, стр. 987), не Джон Гадлей, известный изобретатель зеркального секстанта, а Джордж Гадлей, мало известный член Королевского общества.

ЗАДАЧА О ТРЕХ ТЕЛАХ. ГРАДУСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ 275

Говоря об успехах механики, следует упомянуть и о задаче *трех тел*. Лучшей проверкой теории тяготения Ньютона было объяснение ею запутанного движения планет. Задача вычислить движение Луны, исходя из взаимного притяжения между нею, ее планетой и Солнцем превратилось в общую задачу *определить движения трех тел, которые взаимно притягиваются пропорционально массам и обратно пропорционально квадратам расстояний*. В 1747 г. д'Аламбер представил Парижской академии решение этой задачи; в этом же году появилось решение Клеро; Эйлер в свою очередь работал над этой задачей. Интересно, что для скорости лунного апогея у них получалась величина на половину меньше действительной. Это повело к поправкам, и в 1751 г. Клеро получил премию Петербургской академии уже за исправленное решение, которое в полном виде появилось в 1765 г. в его «*Théorie de la lune*». Д'Аламбер изложил свою теорию в «*Recherches sur plusieurs points importants du système du monde*» (3 тома, Париж 1754—1756 г.), а Эйлер в 1753 г. в сочинении «*Theoria motus lunae*». Последнее получило наибольшее практическое применение, так как оно послужило основанием для составления Тобиасом Майером знаменитых лунных таблиц.

Только что упомянутый *Алексис Клод Клеро* (1713—1765) принадлежал к разряду ранних математических гениев и уже в 18 лет был членом Парижской академии. Для физики впрочем, он не имел большого значения, потому что его работы были чисто математические. Для нас важнее всех других его сочинений знаменитый трактат «*Théorie de la figure de la terre*» (Париж, 1743), в котором в общем виде и правильно разработан вопрос о равновесии жидкостей. Ньютон из своей теории вывел сжатие земли в отношении 229:230, но градусные измерения обоих *Кассини* (*Giovanni Domenico Cassini*, 1625—1712 г. и его сын *Jacques Cassini*, 1677—1756 г.), произведенные при содействии *Маральди* и *Ла-Гира*, та юге (между Мальваузенем и Коллиуром) и на севере (между Амьеном и Дюнкирхеном) Франции в промежутке между 1683—1718 гг., дали для величины 1° на юге 57 097 туазов, а на севере 56 960 туазов. *Результаты измерения стояли, таким образом, в прямом противоречии с теорией сжатия и заставляли скорее считать землю удлинённой*. Отсюда произошел длинный спор между англичанами и французами, побудивший последних снарядить новую экспедицию для градусного измерения. Одна партия под начальством *Буге* (с ним мы еще встретимся как с оптиком) и *Шарля Мари де-ла Кондамина* (1701—1774) отправилась в 1735 г. в Перу и закончила свою задачу в 1742 г., найдя для 1° 56 734 туазов. Другая партия, под начальством *Мопертюи* и *Клеро* в качестве помощника, отправилась в Лапландию и нашла здесь (1736—1737) для 1° 57 438 туазов. *Эти измерения доказали несомненное сжатие земли, но все еще не вполне согласовались с теорией, так как они давали сжатие почти вдвое больше ожидаемого*.

Начальник северной экспедиции *Пьерр Луи Моро де-Мопертюи* (1698—1759), про которого злобные враги утверждали, будто он — бывший драгунский капитан — обязан своим высоким положением скорее успехами в салонах, чем на научном поприще, сыграл известную роль и в механике, установив общий принцип для аналитического ре-

276 ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ

шения всех механических задач. Окончив градусные измерения, Мопертюи отправился по приглашению Фридриха II в Берлин организовывать там академию. Но так как в этом же году началась первая Силезская война, то открытие академии последовало лишь в 1745 г., когда Мопертюи и сделался ее президентом. В Берлине он оставался 10 лет и вернулся во Францию из-за литературных несогласий, преимущественно с Вольтером. Умер он в Базеле. *Принцип Мопертюи это начало наименьшего действия*, которое в более узком применении мы встретили уже у Герона и Ферма. Работы по этому вопросу он напечатал в 'мемуарах как Парижской (1744), так и Берлинской (1746) академий под заглавием: «Les lois du mouvement et du repos déduites du principe métaphysique». Принцип этот гласит: *если в природе происходит само по себе какое-либо изменение, то необходимое для этого количество действия есть наименьшее возможное. Количество действия* определяется при этом как произведение массы на скорость и на пройденный путь. Как уже видно из заглавия, Мопертюи устанавливает свой принцип метафизически, в силу мудрости создателя и управителя вселенной, исключаяющей возможность бесполезной траты работы. В своих же приложениях этот принцип по существу дела совпадает с началом виртуальных скоростей. Это вытекает особенно ясно из приложения принципа к случаю равновесия, так называемого «закона покоя», который гласит: *условия равновесия удовлетворены, если необходимое для нарушения его количество действия вблизи положения равновесия представляет minimum*. Поэтому-то в учебниках механики начало наименьшего действия вполне обоснованно не признается самостоятельным принципом.

Поиски общих принципов механики и споры по их поводу составляют отличительную черту этого и последующего периода. Как в философии постепенно все больше приближались к исследованиям теоретико-познавательного характера, так и в механике обратились к критической проверке основ этой науки, и оказалось, что даже самые древние, давно оправдавшиеся на опыте законы были либо недостаточно, либо неверно, либо вовсе не доказаны. Так, многие механики вслед за Вариньоном хотели вывести закон рычага из параллелограмма сил, а другие, например Иоганн Бернулли, считали правильным обратное. *Кестнер* («Theoria vestis et compositionis virium evidentius exposita», Лейпциг, 1753 г.), исходит из равноплечевого рычага, затем переходит к рычагу второго рода, затем к рычагу первого рода, затем к неравноплечему рычагу, коленчатому рычагу и отсюда, наконец, к параллелограмму сил. Д'Аламбер («Traite de dynamique») выводит последний непосредственно, представляя тело, на которое действуют две силы, лежащим в плоскости, которая движется таким образом, что тело остается в покое. *Закон сообщающихся сосудов* выводится Даниилом Бернулли из положения, что поверхность покоящейся жидкости горизонтальна. Д'Аламбер считает этот вывод недостаточным и привлекает еще на помощь закон, согласно которому давление распространяется по жидкости во все стороны равномерно. Однако все эти старания не увенчались решительным успехом, так как и «до сих пор существует расхождение во взглядах, следует ли считать закон об инерции и закон параллелограмма сил результатами

*опыта, аксиомами, или же законами, которые можно и должно логически доказать»*¹.

Успехи физики, поскольку они не касались теоретической механики и электричества, были под конец описываемого периода незначительны; впрочем, градусные измерения в Перу и Лапландии были во многих отношениях важны и для физики. Кондамин нашел в Квито для скорости распространения звука 339 м, а в значительно более жаркой Кайенне 357 м, тогда как во Франции уже ранее того (1738—1740) комиссия Парижской академии, состоявшая из *Кассини де-Тюри*, *Маральди* и *Ля-кайля*, нашла эту скорость около 337 м. На уклонение этих измерений от требований ньютоновской формулы снова обратил в 1740 г. внимание женевский профессор *Габриэль Крамер* (1704—1752), восстававший против мысли Ньютона, что частицы воздуха производят колебания наподобие маятника. По мнению Крамера им можно было бы приписать с неменьшей вероятностью и много других форм колебаний. Эйлер защищал взгляд Ньютона и опроверг Мерана, утверждавшего, что воздух должен состоять из частиц различных плотностей, потому что иначе тоны разной высоты не могли бы распространяться в воздухе с одинаковой скоростью.

Полную теорию тонов дал Эйлер в своем «*Tentamen novae theoriae musicae*» (Петербург, 1739). Исходя из чисто математической точки зрения, согласно которой созвучие интервала определяется простотою отношения соответствующих чисел колебаний, он вывел целый ряд систем тонов, из которых только одна почти вполне совпадает с нашей диатоническо-хроматической. Пределы слышимости он определил тонами между 30 и 7500 колебаниями, позднее между 20 и 4000, т. е. примерно 8 октав.

Вопрос об обертонах был правильно разрешен, по крайней мере математически, *Даниилом Бернулли* («*Mém. de Berl.*, 1753) доказавшим, исходя из положения об одновременном существовании малых колебаний, что всякая струна может колебаться одновременно, как целое и частями, производя таким образом наряду с основным звуком и более высокие тона.

Физиологическая оптика постепенно привлекала к себе много работников и сделала заметные успехи. К знаменитой оптике *Роберта Смита* (1689—1768), появившейся в 1728 г. в Кембридже, был присоединен трактат д-ра медицины *Джюрина* (1684—1750) «О ясном и неясном видении», в котором говорится о *кругах светорассеяния, иррадиации, пределах видимости мелких предметов, мерцании звезд и пр.* Здесь же Джюрин высказал следующее положение: за всяким ощущением, продолжавшимся долгое время, следует по прекращении его противоположное. Этим же положением пользуется *Бюффон*² для объяснения субъективных или физиологических цветов, которые он очень подробно исследует в «Парижских мемуарах» в 1743 г. Если на лист белой бумаги наложить небольшой квадрат из красной бумаги и

¹ *Kirchhoff*, Vorlesung. üb. math. Physik. Vorrede zur 1-en Aufl., Лейпциг, 1876.

² Жорж Луи Леклерк граф де-Бюффон (1707—1788) директор королевского сада в Париже и член академии.

278 ТЕРМОМЕТР РЕОМЮРА

долго смотреть на него, не сводя глаз, то вокруг красного квадрата появляется зеленая кайма, а если красный квадрат удалить, не сдвигая глаз, то место, которое было занято квадратом, покажется окрашенным в зеленоватый цвет. Бюффон первый заметил окрашенность теней; при восходе и закате солнца они представлялись ему иногда зелеными, но большею частью голубыми; он отмечает, что всякий может видеть это явление, стоит только при восходе или закате солнца посмотреть на тень собственного пальца на листе белой бумаги. Позднее аббат Мазеас («Mém. de Berlin, 1752»), наблюдая одновременно на белой стене тени одного и того же тела от луны и свечи, заметил, что первая тень была окрашена в красноватый цвет, а вторая в голубоватый. Подобные цвета объяснялись в то время либо окрашенностью паров в воздухе, либо цветом самой атмосферы. Очень оригинально объясняет в приведенном мемуаре Бюффон *косоглазие*. По его мнению, косящий глаз слабее нормального; человек это чувствует и употребляет его в дело не так охотно, как нормальный, все равно, как мы не любим употреблять в дело неловкую левую руку. Поэтому-то косой и смотрит на предметы одним здоровым глазом. Бюффон допускает, что эта причина может быть не единственная, но она, во всяком случае, главная, так как ему лично удавалось излечивать косоглазие тем, что он завязывал здоровый глаз и тем заставлял человека употреблять в дело другой.

О *приспособлении* (аккомодации) глаза к различным расстояниям, *об оценке расстояния* предметов, *о кажущейся величине луны на горизонте*, *о едином видении двумя глазами* и пр. шли длинные споры, не давшие правильного решения вопросов и даже не наметившие основ для последних.

Около 1740 г. *термометр* получил, наконец, свои последние шкалы, получившие общее признание. *Рене Антуан Фершо де-Реомюр* (1683— 1757), член Парижской академии, первый стал градуировать термометры по двум (постоянным точкам — замерзания и кипения воды. Свой способ он описал в мемуарах Парижской академии (1730 и 1731) в статье: «Règles pour construire des thermomètres, dont les degrés soient comparables». Он наполнял термометрические трубки разведенным спиртом, помещал их сначала вводу, доведенную до замерзания охлаждающей смесью, и обозначал уровень спирта нулем. Затем он переносил термометр в кипящую воду, ставил против нового уровня спирта цифру 80 и трубку запаивал. Число 80 было выбрано не произвольно, а потому что согласно опытам Реомюра жидкость в его термометрах расширялась от точки замерзания до точки кипения на $\frac{80}{1000}$ своего объема. Термометры Реомюра были приняты очень охотно и быстро распространились, но вскоре стали раздаваться возражения, особенно против применения спирта. *Мушенбрек* утверждал, что спирт постепенно теряет способность расширяться, но аббат Нолле это опроверг. Возражение *Делюка*, что спирт расширяется менее равномерно, чем ртуть, было, наоборот, основательно. Так как при сличении ртутных и спиртовых термометров показания их оказались несогласными, то Делюк стал употреблять ртутный термометр с реомюровой шкалой. Около того же времени (1742) шведский физик *Цельсий*

(Андерс Цельсий, 1701—1744 г., профессор астрономии в Упсале) вернулся к ртутным термометрам, разделив для большего удобства промежутки между обеими постоянными точками на 100 градусов. Точку замерзания он обозначил 100° , а точку кипения 0° . По предложению Мэртена *Штремера* (Оребро, 1707, Упсала, 1770) вскоре было введено обратное обозначение¹.

Были сделаны попытки объяснить *северное сияние*, но они не увенчались успехом. *Мэран*² объяснял этот свет проникновением в отдельных местах в нашу атмосферу солнечной атмосферы. *Эйлер*³ считал свет северного сияния излучением самой земной атмосферы, вызванным, подобно хвостам комет, солнечными лучами. Вместе с тем в это время было замечено два важных факта, касающихся связи между северным сиянием и магнетизмом, которых, однако, объяснить не смогли (впрочем, и до сих пор мы еще не имеем точного их объяснения). *Олаф Петер Гьортер*, следивший по поручению Цельсия на Упсальской обсерватории за магнитной стрелкой, заметил, что 1 марта 1741 г. во время северного сияния она прошла в сильное колебание. *Мэран* же заметил, что корона северного сияния лежит не только в магнитном меридиане, но и на продолжении линии магнитного наклона. Над усовершенствованием *буссоли склонения* работали Даниил Бернулли и Эйлер, стараясь определить условия, при которых показания различных стрелок наклона были бы согласны между собой. За такую работу Бернулли получил в 1743 г. премию Парижской академии, а Эйлер дополнительную премию. Около того же времени, вероятно по указанию Даниила Бернулли, базельский механик *Иоганн Дитрих* (ум. в 1758 г.) стал готовить подковообразные магниты с арматурой; по крайней мере, на дитриховском магните Бернулли нашел закон, что *подъемная сила подковообразных магнитов пропорциональна их поверхностям или кубическим корням из квадратов их весов*.

Самым знаменитым экспериментальным физиком и преподавателем физики в конце описываемого и в начале следующего периода был *Питер фон Мушенбрек*, «великий Мушенбрек», как его называет Фишер в своей «Истории физики». Он родился 14 марта 1692 г. в Лейдене, с 1719 по 1723 г. был профессором математики и физики в Дуйсбурге, с 1723—1729 г. — в Утрехте, а затем вплоть до смерти (1761) оставался профессором физики в Лейдене, несмотря на многократные приглашения в Копенгаген, Геттинген, Берлин и т. д. Его обширные работы по физике, его «*Elementa physices*» (1729) и, наконец, «*Introductio ad philosophiam naturalem*» (издано посмертно, в 1762 г.) пережили много изданий и получили широкое распространение в переводах на французский и немецкий языки. В большинстве опытных физических работ своего времени он принимал самое видное участие, и однако, если оставить в стороне его участие в изобретении лейденской банки, почти ничего не остается, что бы напоминало его имя от-

¹ *Wolf*, Handb. d. Mathem. u. Phys.. I. стр. 247.

² «*Traité physique et historique de l'aurore boréale*», Париж, 1733.

³ «*Recherches physiques sur la cause de la queue de comètes, de la lumière boréale et de la lumière zodiacale*» («*Berl. Mém.*», 1746).

280 МУШЕНБРЕК. БАЛЛИСТИКА

даленному потомству. Как пример существовавшего тогда разделения физики по отделам, приводим перечень глав из его «Introductio ad philosophiam naturalem». 1) О философии и правилах философствования (главным образом о разделении наук). 2) О телах вообще и их свойствах. 3) О пустом пространстве. 4) О пространстве, времени и движении. 5) О силах давления. 6) О силах движущихся тел. 7) О тяжести. 8) Механика (простые машины). 9) О трении. 10) О движении машин. 11) О сложном движении. 12) О движении тяжелых тел по наклонной плоскости. 13) О качании маятника. 14) О метательном движении. 15) О центральных силах. 16) О твердых, упругих и других телах. 17) Об ударе. 18) Об электричестве. 19) О магните. 20) О притяжении тел. 21) О сцеплении и твердости. 22) О жидкостях вообще. 23) О давлении жидкостей. 24) Истечение жидкостей из отверстий. 25) О фонтанах. 26) Удельный вес. 27) Вода. 28) Огонь. 29) О свойствах света вообще. 30) О телах, поглощающих свет. 31) О преломлении света и преломляющих телах. 32) О преломлении; света плоскими и сферическими поверхностями. 33) О свете, переходящем из воздуха в стекло и отсюда опять в воздух. 34) О различной преломляемости лучей и о цветах. 35) Описание глаза. 36) О зрении. 37) Диоптрика. 38) Катоптрика. 39) О воздухе. 40) О звуке. 41) О воздушных метеорах вообще. 42) О водяных метеорах. 43) Об огненных метеорах. 44) О ветрах.

Следует упомянуть еще о некоторых специальных проблемах, стоящих на границе между математической и опытной механикой. Мы уже говорили, что Иоганн Бернулли занимался определением *траекторий бросаемых тел* при различных условиях сопротивления среды, это исследование не имело, однако, практического значения, так как выражения для путей, к которым пришел Бернулли, были по тогдашнему состоянию анализа либо вовсе неразрешимы, либо слишком сложны для практического их применения. Кроме того, для практики на первом плане все еще стоял вопрос об определении действительного, существующего в природе закона сопротивления. Кроме того, теории огнестрельного оружия не доставало более точного определения начальных скоростей снарядов; во всяком случае, все таблицы, вычисленные согласно существовавшим тогда теориям, не соответствовали в сколько-нибудь приемлемой степени данным прямых наблюдений. Поэтому *при разрешении баллистических задач были вынуждены оставить путь математического анализа и обратиться к непосредственному опыту*. Роберт Андерсон («The genuine, use and effects of the gun» Лондон, 1674) и Блондель («L'Art de jeter les bombes», 1685) первые пытались исправить старую теорию полета, согласно которой путь снаряда вследствие ничтожности сопротивления воздуха тяжелым телам считался параболическим; при этом, однако, они сохранили неизменными исходные положения. Позднее артиллерийский офицер Рессонс (1716) на основании прямых наблюдений над действием огнестрельных орудий доказал совершенную невозможность согласовать эти явления с теорией, в силу чего эта точка зрения была оставлена.

Практическими опытами с большим успехом занялся впервые **БЕНДЖАМИН РОБИНС** в 1740 г., изложивший свои результаты

в сочинении «*New principles of gunnery*» (Лондон, 1742). Он постарался, прежде всего, определить скорость снаряда в любой точке его пути, так как от нее зависит сопротивление воздуха и, в конце концов, определение самого пути. С этой целью он устроил особый маятник (баллистический), в тяжелое тело которого он и направлял ядра при выстреле. Из веса маятника, его размеров и отклонения в результате выстрела определялась скорость ядра при ударе в маятник. Тщательно проверяя затем гипотезы о сопротивлении воздуха, он установил, что для малых скоростей сопротивление действительно почти пропорционально квадрату скорости, но что для больших скоростей, в несколько сот футов и секунду, сопротивление возрастает быстрее, чем квадрат скорости. Он подтвердил далее, что баллистическая кривая ни в коем случае не представляет собой параболы и даже не приближается к ней и что восходящая часть кривой значительно длиннее нисходящей. К сожалению, Робинс был до такой степени занят другими делами, что не мог продолжать своих опытов, а вскоре после того он умер. Эйлер так высоко оценил его сочинение, что перевел его с дополнительными примечаниями и издал его под названием: «*Neue Grundsätze der Artillerie mit Anmerkungen von L. Euler*» (Берлин, 1745).

Закон сопротивления жидкостей продолжал играть большую роль и в теоретической физике, но по поводу его не пришли к согласованным выводам. В течение всего этого периода самые знаменитые физики работали над этим вопросом, который проник почти во все области механической физики. Еще в 1710 г. Ньютон побудил Гауксби произвести опыты падения тел в соборе Павла для определения сопротивления воздуха. Дезаюлье продемонстрировал в присутствии английского короля, что в трубке высотой в 15 футов гиней и кусок бумаги одновременно достигли дна трубки, когда воздух из нее был выкачан, а в наполненной воздухом трубке кусок бумаги отстал на половину высоты от гиней. Дальнейшие опыты по сопротивлению воздуха и воды он показал перед многими членами Королевского общества в 1719 г. Некоторые физики, например Ньютон и Грэгг, пытались разрешить эту задачу при помощи маятника, но тоже без решительного результата. С'Травезанд² («*Elementa physices*», III кн., 15 гл.) вывел из множества опытов, что сопротивление жидкости состоит из двух частей, из которых одна, проистекающая от сцепления частиц жидкости, пропорциональна скорости, а другая, происходящая от инерции жидких частиц, пропорциональна квадрату скорости. Даниил Бернулли пришел в своих теоретических работах к таким же взглядам. Борда (Жан Шарль, 1739—1799), наобо-

¹ Родился в 1707 г. в Бате; изучал сначала теологию, потом физику и математику. В 1742 г. был членом артиллерийской комиссии в Вульвиче. В 1749 г. отправился в Индию в качестве инженерного генерала и умер в Мадрасе в 1751 г.

² Вильгельм Якоб с'Травезанд (1688—1742), сначала адвокат в Гааге, потом профессор математики и астрономии и, наконец, с 1734 г. профессор физики в Лейдене. Его «*Physices tlementa mathematica, experimentis confirmata, sive Introductio ad pliilosopham Newtoniam*», появились первым изданием в 1721 г., вторым в 1725 г. и третьим в 1742 г. Многие из его приборов для лекций служат и до сих пор образцами; собрание их хранится в Лейдене.

282 СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

рот, вернулся к старым воззрениям, выведя тоже из многочисленных опытов, что *сопротивление жидкостей*, во всяком случае при наблюдаемых им скоростях, *почти пропорционально квадрату скорости*. Работы его были напечатаны в «Парижских мемуарах» (1763, 1767, 1770). Так при этом старом ньютоновском законе сопротивления мы и остались до настоящего времени, хотя и установлено, что он может значительно видоизменяться от множества причин; так в капельножидких веществах — от запруживания, а в упругих жидкостях — от сжатия их движущимися телами.

IV. ПЕРИОД ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ОТ ТРЕНИЯ

(Приблизительно от 1750 до 1780 г.)

Спокойное развитие и непрерывные успехи нашей науки всего яснее показывают, что она постепенно попала на настоящую почву и приняла верное направление. Правда, по временам движение сбивается с прямого пути на окольные дороги, иногда путь разбивается на мелкие тропинки и теряется из виду главная цель; но сбиться в область обманов и грез теперь уже почти невозможно. И в рассматриваемом периоде физика развивается в прежнем духе, двигаясь вперед старыми путями, за единственным исключением, основание которому положено было в предшествующий период.

Математическая физика, правда, уже не видит своих первых работников, заложивших ее фундамент: поколение бурно гениального времени исчезло. Но оно оставило по себе могучих преемников, которые талантливо ведут науку вперед в духе ее основателей без перерывов и замедлений, обогащая механику, акустику, оптику и вообще все отделы физики, служившие до того предметом математической обработки, исследованиями, которые ни по количеству, ни по качеству не уступают работам предшественников.

Область физики все еще остается почти совсем закрытою для натурфилософии. Декарт окончательно побежден и вытесняется из своего последнего убежища — теоретического учения о магнетизме и электричестве. Французские материалисты, хотя и имеют в своем составе знаменитых математиков, например д'Аламбера, стараются ввести свое учение, прежде всего в социальные науки и этику, о широком же его применении к физике не заботятся, за отсутствием времени и интереса. Господствующая в Германии вольфова школьная философия оказывается малопродуктивной; воспринимая более или менее пассивно данные физики, она не подвергает их какой-либо самостоятельной переработке. Даже наш учитель философов Кант стоит вплоть до 1760 г. еще на почве философии, и лишь затем, пройдя школу юмовского скептицизма, в 1770 г. превращается в критического философа. С завершением этой эволюции, особенно со времени появления его «Критики чистого разума», Кант приобретает значение и для физики, так как, начав собою новый период философии и воз-

284 ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

двигнув прочное здание общих философских начал, он положил основание и для возникновения позднейших натурфилософских систем. Знаменательно, что и эти системы были построены совершенно по старому шаблону, вне всякой связи и содействия обоим другим методическим факторам физики, поэтому они улетучились бесследно, как облака в воздухе, лишенные какой бы то ни было связи с твердой почвой. Впрочем, это эфемерное возрождение натурфилософии относится, собственно, к последующему периоду нашей науки, и мы встретимся с ним дальше.

В *опытной физике* многочисленные открытия в области электричества от трения начинают собою новую эпоху. *Изумительные явления электрического света, электрического удара, объяснение молнии, непосредственное извлечение электричества из атмосферы* возбуждают всеобщий энтузиазм, даже больший, чем возбудили сто лет назад опыты Герике. В самые широкие круги проникает желание познакомиться с новыми электрическими явлениями и испытать их удивительное действие на себе; кому не удастся побывать в физических лабораториях, тот дает себя электризовать для улучшения своего здоровья, но, во всяком случае, за счет собственного кошелька, хотя бы в ярмарочных балаганах на народных празднествах. *Даже в среде многих ученых трезвость взгляда постепенно стала уступать место некоторого рода опьянению;* и как сто лет назад все объяснялось воздушным давлением, так теперь электричество приводилось в связь со всевозможными проблемами и считалось причиной самых разнообразных явлений. Уильям Стекли («The philosophy of Earthquakes natural and religious», Лондон, 1750) считал землетрясения электрическими ударами. Андреа Бина утверждал в 1751 г., что при землетрясении полости внутри земли, наполненные водой, играют роль Лейденских банок, а даже Беккария считал в 1758 г. землетрясения явлениями выравнивания электричества между атмосферой и земной корой. Менее странной должна казаться мысль знаменитых физиков Соссюра и Делюка об участии электричества в *испарении и образовании дождя*; но в мысли Губе («Unterricht in der Naturlehre». 1793—1794) будто пузырьки пара от электричества расширяются и поднимаются кверху, а при выравнивании электричества сжимаются и падают вниз в виде дождя, опять заметно то увлечение, которое приписывало электричеству участие чуть ли не во всех явлениях природы.

Впрочем, это увлечение, конечно, принесло большую пользу дальнейшему развитию учения об электричестве, потому что оно привлекло в эту область такое значительное число работников и возбудило в них столько рвения, что это учение сделало огромные успехи в течение каких-нибудь 30 лет (приблизительно с 1750 по 1780 г.). За *этот короткий срок были изучены самые важные из явлений электричества от трения; было сконструировано большинство электрических приборов, а Кулоном были уже установлены и количественные законы электрического действия.* Таким образом новая область созрела даже для применения матема-

тики. Рядом с этим возникло несколько *теорий электричества*, допускавших связанное объяснение явлений. К сожалению, эти теории должны были принять за основу существование особых *электрических жидкостей*, вследствие чего установление связи между электрическими силами и другими физическими силами, следовательно, изучение явлений электричества с более общих точек зрения сделалось почти невозможным. Правда, некоторые высказывали предположения о тождестве *электрических жидкостей* с другими уже принятыми жидкостями, например с только что признанным тогда *теплородом*, или с *флогистоном*, горючим началом тогдашних физиков, но для подобных параллелей не было никаких фактических оснований; поэтому, в сущности, приходилось ограничиваться гипотезой об одной или двух *специфических электрических жидкостях*. Гипотеза эта повела к принятию *соответствующих магнитных жидкостей* для объяснения магнитных явлений. Как ни печально такое положение дела, но осуждать его нельзя, потому что принципиально мы и теперь недалеко ушли от него вперед.

В области оптики следует, прежде всего, отметить *измерения силы света и устройство ахроматических зрительных труб*. В теории света, несмотря на все усилия *Эйлера*, не удалось выбраться из теории истечения ньютоновской школы. Связь физики с химией, становившаяся по мере развития последней все более тесной, вызвала ряд *исследований по теплоте*, повела к установлению понятия скрытой теплоты и к признанию *самостоятельного теплового вещества*. Продолжительный спор об *испарении и улетучивании жидкостей*, равно как о причине этих явлений, несмотря на обоюдный интерес к нему со стороны физиков и химиков и, несмотря на ряд тщательных работ, остался нерешенным. Следует еще указать, что на конец этого периода приходится гениальные усовершенствования паровой машины *Уаттом*. Благодаря последнему эта машина приняла ту форму, какую она в существенных чертах сохранила и поныне, — форму, которая сделала из нее универсальную рабочую машину нового времени. Уатт и его открытия начинают собой эпоху блестящего развития машинной техники, поэтому имя Уатта составляет эпоху не только в истории техники, но и в истории человечества.

После непродолжительного перерыва ученые снова принялись за *ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ*, которые сразу дали самые поразительные результаты, привлекли в эту область массу работников и вызвали громадное количество опытов. Во время опытов по электричеству лейпцигского физика *Христиана Августа Гаузена* (1693—1743) один из его слушателей *Литцендорф* высказал мысль, что электризацию стеклянной трубки движениями рук было бы целесообразнее заменить вращением укрепленного на оси стеклянного шара, который можно приводить в движение рукояткой. Гаузен тотчас же осуществил это предложение и описал новую машину для электризации стекла в брошюре «*Novi profectus in historia electricitatis*» (Лейпциг, 1743). Шары из серы *Герике* и стеклянные шары *Гауксби* были, таким образом, забыты, но

зато теперь принялись за усовершенствование машины Гаузена. *Георг Маттиас Бозе*, профессор физики в Виттенберге (1710—1761), скоро заметил, что электрическое действие может быть усилено, если отводить электричество от шара жестяной трубкой. Сначала этот первый кондуктор электрической машины держал в руках человек, изолированный от пола; потом трубку стали подвешивать на шелковых шнурках и приводили ее в соприкосновение с шаром посредством пучка проводящих нитей, воткнутых одним концом в трубку, а другим скользящих по шару. Бозе опубликовал свои исследования в ряде сочинений от 1738 до 1749 г. Он показал, что *тела от перехода на них электричества не изменяются в весе*, и, по-видимому, зная, что при натирании шара рукой наэлектризовывается и последняя; его удивляло только то обстоятельство, что от изоляции натирающего человека действие электричества не усиливается, а наоборот, ослабевает. Дальнейшие усовершенствования электрической машины были сделаны *Винклером*, описавшим их в двух брошюрах: «*Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Electricität, nebst Beschreibung zweier elektrischen Maschinen*» (Лейпциг, 1744) и «*Die Eigenschaften der elektrischen Materie und des elektrischen Feuers, nebst etlichen neuen Maschinen zum Elektrisieren*» (Лейпциг, 1745).

Иоган Гейнрих Винклер (1703—1770 г.), сначала профессор греческого и латинского языков, потом профессор физики в Лейпцигском университете, укрепил на оси машины для усиления ее действия четыре шара и заставлял натирать их руками двух человек. Так как эта установка была довольно неудобна, то по разумному совету лейпцигского токаря Рислинга руки людей были заменены в процессе трения подушками. Последние прижимались к стеклянным шарам или цилиндрам ¹ сначала винтами, а позднее пружинами. Сравнительно сильное действие новой машины возбудило большой интерес, и все начали стараться устраивать подобные или же еще более сильные машины. При этом все еще обращали наибольшее внимание на электрическую искру или электрический огонь. *Христиан Фридрих Людольф* (1707—1763), врач и член Берлинской академии, в заседании Берлинской королевской академии в 1744 г. зажег эфир посредством наэлектризованного железного прута; Винклер зажег спирт своим пальцем; англичанин *Генри Майльс* сделал то же с фосфором и горючими парами, а *Уильям Уатсон* зажег электрической искрой порох и водку. Однако вскоре, а именно в 1745 г., мир познакомился с еще более удивительным явлением.

Осенью 1745 г. *Эвальд Георг фон Клейст* (ум. в 1748 г. соборный декан в Каммине, в Померании) заявил нескольким лицам о сделанном им 11 октября новом открытии. В медицинскую склянку с небольшим количеством ртути или винного спирта вставляется гвоздь, и свободный конец его наэлектризовывается. От прикосновения к гвоздю получается очень сильная искра, настолько сильная, что она приводила в содрогание всю руку и плечо. Но для этого *нужно* держать склянку в руке, потому что при ее изоляции действие оказывается слабым. В этой

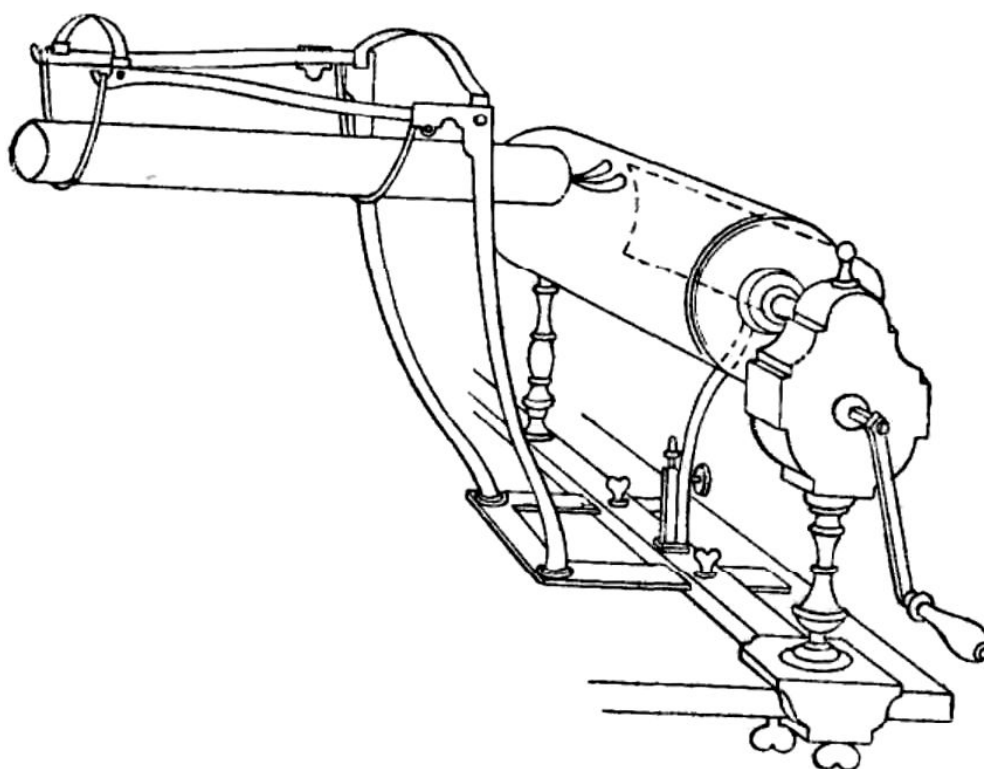
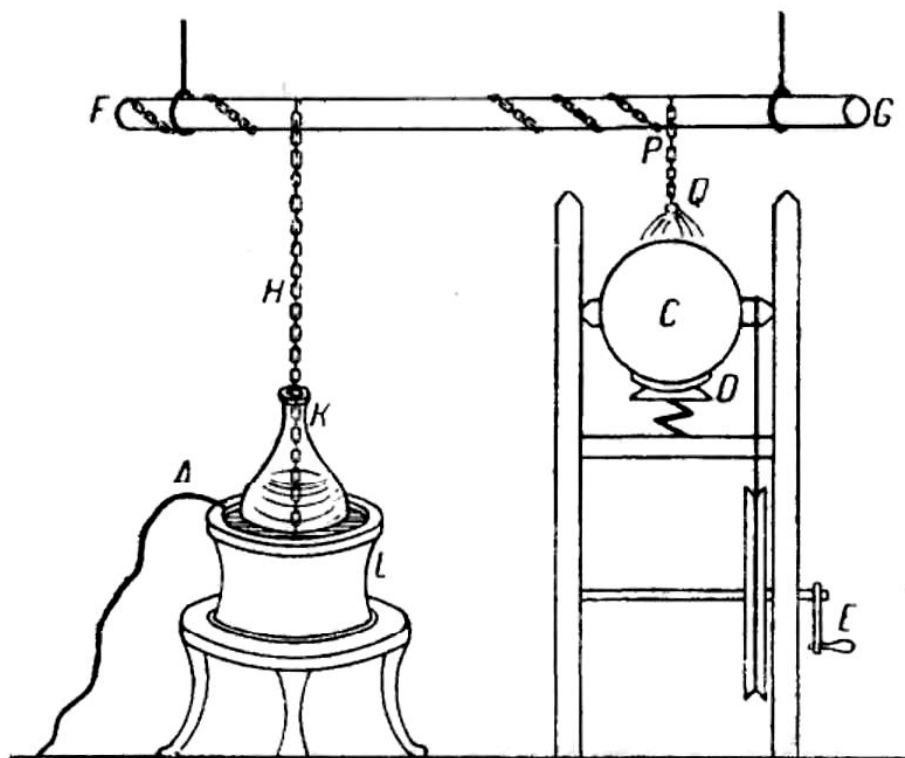
¹ Замену стеклянных шаров цилиндрами предложил эрфуртский профессор Гордон.

первоначальной форме *усилительной банки* рука, очевидно, играла роль наружной обкладки, а жидкость — внутренней. В то время как об открытии Клейста делались еще сообщения в германских академиях, в начале 1746 г. голландский физик Мушеибрек заявил, что то же самое открытие было сделано в Голландии в прошлом (т. е. 1745) году. Он вместе со своими друзьями пытался сохранить электричество в теле; в этих опытах принимал участие некто Кунеус, богатый гражданин города Лейдена; последний случайно дотронулся рукой до гвоздя, посредством которого электричество проводилось в воду, наполнявшую банку, для сохранения его в воде; Кунеус при этом получил очень сильный удар. Молва об этом быстро распространилась, и этот опыт стал повторяться во многих других местах. Описание этих опытов всего лучше показывает, какое огромное впечатление производило на людей эта внезапно выросшая таинственная сила. Мушенбрек писал Реомюру: «Ради короны Франции я не согласился бы еще раз подвергнуться такому ужасному сотрясению». Винклер, с жаром принявшийся за повторение опытов, говорит, что после подобного опыта у него были сильные конвульсии в теле, и кровь до того разгорячилась, что он опасался сильной горячки и принимал прохладительные лекарства. Кроме того, после этого опыта он страдал два раза кровотечениями из носу, чего с ним прежде не бывало, и такими колющими болями в руках, что он не мог писать в течение восьми дней. С его женой, которая тоже попробовала на себе действие банки, случилось то же самое. Эти явления побудили Винклера испытать, не получатся ли сильные электрические действия и без посредства человеческого тела. С этой целью, обвив вокруг балки железную цепочку, он привел последнюю в соприкосновение с оловянной тарелкой, на которой был укреплен металлический кружок, и приблизил последний к кондуктору своей машины, находившейся в металлическом сообщении с гвоздем банки. С помощью этого несколько сложного разрядника он мог получить электрические удары, не причинявшие боли. Обеспечив себя таким образом против сильных ударов, он постарался получить еще более сильные действия и устроил в 1746 г. батарею из трех банок; опустив их в подвешенном положении в воду Плейссе, он соединил медные стержни банок металлически и наэлектризовал их одновременно. От этой *электрической батареи* получались искры, которые можно было видеть и слышать на расстоянии двухсот шагов¹.

¹ Эйлер приводит в своих «Lettres a une princesse allemande» (1760— 1762) воспроизведенный на следующей странице рисунок очень еще примитивной машины с усилительной банкой. Изображение это может служить типом для первоначальной формы приборов этого рода. «С есть стеклянный шар, приводимый в движение колесом *E* и трущийся о подушку *D*. *Q* изображает пучок металлических нитей, проводящих электричество через металлическую цепочку *P* в железный прут *FG*». С прутом «соединяют другую металлическую цепочку *H*, которая опущена противоположным концом в стеклянную банку *K*, наполненную до шейки водой. Банка погружена в лоханку *L* с водой. Из воды лоханки можно, если угодно, вывести еще цепочку к полу». Для сравнения приводим рядом изображение уже более совершенной машины из «Introductio ad philosophiam naturalem» (Лейден, 1762) Мушенбрека.

288 Электрические машины Эйлера и Мушенбрека

Данцигский профессор *Грлат* (написавший историю электричества, которая появилась в печати в 1747—1756 гг.) первый заменил меди-



Черт. 14.

цинские склянки банками большей величины, вместо гвоздя стал употреблять железную проволоку с шариком на конце, а спирт заменил водой. Он тоже составлял батареи из нескольких банок и сообщал

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОЙ БАНКИ 289

электрические удары многим людям (до 20 человек) сразу, заставляя их образовать цепь, в которой один из крайних брал в руку банку, а другой касался шарика проволоки. В Англии *Уильям Уатсон* (1715— 1787 г., врач, член Королевского общества и хранитель Британского музея) старался воспроизвести эти опыты еще в больших размерах. Уже в 1747 г. он произвел при содействии *Мартина Фолькса*, *Чарльза Кэвендиша*, *д-ра Бевиса*, *Грэгга* и др. ряд опытов, при которых электричество передавалось на большие расстояния, отчасти с целью исследовать, нельзя ли измерить скорость распространения электричества. С этой целью в постепенно удлиняемую разрядную цепь между наружной поверхностью банки и внутренним стержнем были включены на отдельных расстояниях люди, которые и должны были наблюдать на себе действие ударов и скорость, с которой они наступали. Электричество проводилось один раз через Темзу, другой раз на расстоянии двух миль, частью через воду, частью по суше. При этом были сделаны *очень ценные наблюдения лучшей или худшей проводимости и потерь электричества при различных способах проводки, но измерить скорость его распространения не удалось*, так как даже при цепи в две мили длиной человек, стоявший по ее середине, почувствовал улар в то же мгновение, в которое он увидел искру. Из этого же кружка английских физиков вскоре вышел *ряд усовершенствований или, по крайней мере, существенных видоизменений в устройстве усилительной банки*. Уатсон заметил, что удар клейстовой банки чувствуется тем сильнее, чем в большем числе точек прикасаются к ее наружной поверхности. Это навело *д-ра Бевиса* на мысль *обкладывать наружную поверхность банки сначала тонкими свинцовыми пластинками, а затем, еще лучше, листами станиоля* (оловянная фольга). Дальнейшие опыты показали, что род жидкости, которой наполняли банки, не имеет влияния на ее действие: Бевис наполнял банку вместо воды дробью и получал довольно сильное действие. Вслед за этим Уатсон заменил неудобную для работы жидкость *внутренней обкладкой, и банка получила свою окончательную форму*. Д-р Бевис был, по-видимому (личность его вообще очень мало известна), очень способный человек, так как ему же принадлежит установление факта, что форма банки в ее действии не играет никакой роли; он обкладывал *обыкновенный стеклянный лист с обеих сторон свинцовыми или станиолевыми пластинками, не доводя их на 1 дюйм до края стекла, и получал такое же действие, как от банок*. Уатсон описал все эти опыты в «Philosoph. Transact.» 1748 и 1749 гг.

Во Франции электричеством занимались с успехом: аббат *Жан Антуан Нолле* (1700— 1770), профессор физики в Париже, член академии, принимавший участие в опытах Дюфэ, и *Гильом Лемонье* (1717—1799), лейб-медик короля, профессор ботаники и член академии. Нолле в присутствии короля провел электричество через цепь в 180 человек. Лемонье пытался измерить скорость распространения электричества и пропустил его с этой целью через проволоку в 950 туазов. Но и ему не удалось определить времени прохождения электричества, во всяком случае, это время составило не более $\frac{1}{4}$ секунды. *Нолле первый стал убивать разрядами банки маленькие живые существа,*

290 ОПЫТЫ НОЛЛЕ

например воробьев; он же первый заметил, что *электричество быстрее стекает с острия, чем с тупых тел*; он заметил *особенный запах* при истечении электричества и первый устроил род *электрометра*. Дюфэ с целью определить присутствие электричества на трубке вешал на ней нити, а Нолле пришел к мысли воспользоваться величиною угла расхождения ниток с целью измерения величины заряда. Но так как прикладывать непосредственно к нитям угломер невозможно, то он предложил измерять угол между ними на их тени. Целым рядом опытов Нолле подтвердил наблюдение Бозе, что вода, вытекающая из тонких трубок каплями, *начинает вытекать из них сплошной струей, когда она наэлектризована*. Наконец, ему же принадлежит мысль *изучать действие электричества на растениях и на животных*. Относительно растений он полагал, что электричество способствует их росту, а в отношении животных он думал, что оно, по меньшей мере, усиливает испарения. Он полагал, что последнее действие *можно будет использовать для лечебных целей*. Впрочем, о применении электричества к медицине написал книгу уже в 1745 г. врач *Кратценштейн* из Галле; о нем же рассказывают, что в 1744 г. он излечил электричеством паралич пальца. Кроме того, известно, что в 1748 г. *Луи Жальябер* излечил посредством электрических сотрясений паралич руки, причиненный ударом молотка.

Нолле был очень ревностный экспериментатор. Изучая действие электричества при очень разнообразных условиях и ставя его в связь со всевозможными явлениями, он всегда был осторожен в истолковании результатов. Так, относительно упомянутых выше опытов с растениями и с животными он определенно замечает, что они требуют еще дальнейшего подтверждения; да и в приводимом ниже случае он оказался гораздо осторожнее своего заслуженного лейпцигского собрата, профессора Винклера. Венецианский юрист *Джиованни Франческо Пивати* сообщил в двух брошюрах 1747 и 1749 гг.¹ очень любопытные открытия. Наэлектризовав закупоренный стеклянный цилиндр с перувианским бальзамом, он заметил, что достаточно подвести к нему человека, чтобы тот почувствовал на себе действие бальзама и даже сохранил на себе долгое время запах этого вещества. Винклер в Лейпциге принялся с жаром повторять эти опыты. Наполнив стеклянный шар серой, он закупорил его так плотно, что запаха не было слышно даже при плавлении серы. Но лишь только он наэлектризовал шар, запах сделался столь сильным, что прогнал присутствовавшего при опыте друга Винклера, профессора *Гаубольдта*. С перувианским бальзамом опыты удались столь блестящие, что Винклер даже на другой день за чаем почувствовал еще во рту приятный сладковатый вкус его паров. Он нашел, далее, что душистые пары можно переводить посредством электричества через воздух из одной комнаты в другую, расположенную далеко. Аббат Нолле в свою очередь настолько заинтересовался этими опытами, что нарочно поехал в Италию их посмотреть; но заявления

¹) „Della elettricità medica, lettera del chiarissimo signoreggio Francisco Pivati al celebre signore Maria Zanotti" (1747). „Riflessioni fisiche sopra la medicina elettrica" (1749).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ. БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН 291

Пивати оказались крайне преувеличенными, так как при соблюдении всех предосторожностей ни при одном из опытов нельзя было почувствовать ни малейшего запаха. Англичане, повторявшие в доме Уатсона опыт Винклера над прониканием пахучих паров сквозь стекло при помощи электричества, тоже пришли к отрицательным результатам.

Очень удивляться таким опытам и строго осуждать экспериментаторов, с которыми случаются подобные происшествия нельзя. *Везде, где в качестве орудия исследования применяется вкус или обоняние, обманы скорее вероятны, чем невероятны, тем более, что в те времена еще не существовало теории для установления вероятности предполагаемых фактов.* История развития электрической машины тоже богата странными наблюдениями и опытами, и они легко объяснимы, так как теории машины на первых порах не существовало. У одного физика рука для натирания стекла оказывается лучшим орудием, чем шерсть или кожа; другой получает более сильное действие от натирания стекла смоченными веществами; третий утверждает, что опыты удаются всего лучше в присутствии многочисленной публики, стоящей подле машины; и вероятно все трое говорили правду, в соответствии с определенными условиями своих опытов.

Старая теория истечения электричества была рассчитана на объяснение явлений электрического притяжения и потому уже не годилась для объяснения новых наблюдений. Поэтому *Нолле придумал новую теорию одновременного оттока и притока электрической материи.* Она, однако, не выявляла различия противоположных электричеств, стеклянного и смоляного, следовательно, в свою очередь была мало приложима к объяснению новых явлений в электрической машине и в усилительной банке. Больше посчастливилось в теоретической области Уатсону. Найдя, что трущую подушку в машине нужно отводить к земле, он пришел к заключению, что *электричество получается не от трения, а переходит с подушки, — и, следовательно, косвенно из земли — на натираемое тело и здесь собирается.* Это понятие уже необходимо вело к различию двух электричеств, одного со знаком плюс, другого со знаком минус; но прежде чем Уатсон додумался до этого, эта мысль была уже развита Франклином и заслужила всеобщее признание благодаря тому, что она объяснила казавшееся столь трудным для понимания действие усилительной банки.

БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН, сын небогатого мыловара, родился 17 января 1706 г. в окрестностях Бостона. В раннем возрасте он помогал отцу; учился в школе средней руки с малым успехом и приобрел знания уже позже, самоучкой. В этом ему помогло то обстоятельство, что 12 лет он поступил в учение к своему брату, типографщику и книгопродавцу, где в свободные от служебных занятий часы он мог читать и приобрести многостороннее образование. Условия жизни молодой Америки, свобода от цехового гнета, который не чужд науке в Европе еще и до сих пор, привели к тому, что из типографщика без систематического среднего и университетского образования за короткое время получился не только выдающийся государственный человек, но и крупный ученый. С 1730 г., заведя собственную типографию в Фи-

292 БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН

ладельфии, он собирает вокруг себя образованных людей; на его собраниях занимаются политикой и научными, преимущественно естественноисторическими вопросами. *В этом кружке Франклин начал с 1745 г. свои исследования по электричеству и более десяти лет ревностно их продолжал.* Но затем отечество призвало его как многократно уже испытанного общественного деятеля на государственную службу. Франклин был два раза, с 1757 по 1762 и с 1764 по 1775 гг. представителем своей родины в Лондоне и защищал интересы соотечественников с такой смелостью и мужеством, что под конец ему лишь с трудом удалось возвратиться свободным в Филадельфию. В 1770 г. он отправился посланником Американских штатов в Париж, заключил здесь союз с Францией; позднее он принимал участие в заключении мира с Англией; по возвращении на родину он иступил в Конгресс американских штатов. Политическую деятельность он покинул в 1788 г., будучи 82 лет; умер он 17 апреля 1790 г.

Франклин был, прежде всего, практик. Своим участием в основании общепольных обществ и изданием в течение 25 лет (с 1732 г.) своего «Poor Richard's Almanac» он оказывал большое преимущественно практическое влияние на народные массы. Наука возбуждала в нем живейший интерес, но лишь постольку, поскольку она могла быть полезной в практике. *В электричестве его очень интересовал вопрос о защите против гроз; метеорология была его любимым занятием, а явлениями горения он занимался ради устройства экономических печей, которые были, по собственному его выражению, его любимым коньком. Тем большую заслугу представляет то обстоятельство, что он все-таки сумел оценить значение теории и сам дал наиболее пригодную для того времени теорию электричества.* Жаль только, что его научные занятия почти прекратились с 1757 г., когда он был призван на политическое поприще. Свои, ставшие знаменитыми исследования он опубликовал в письмах к Питеру Коллинсону в Лондоне, члену Королевского общества. Первое письмо датировано от 28 июля 1747 г., а последнее от 18 апреля 1754 г. Знаменитый Дэви говорит о них: «Все его исследования сопровождались свойственной ему одному счастливой индукцией, и никто не обладал в такой мере способностью достигать больших целей с самыми незначительными средствами. Способ изложения его открытий столь же удивителен, как и самое содержание их. Он старался удалить из вопроса все темное и таинственное. Говорил он одинаково хорошо и для физика-специалиста и для физика-любителя; вдаваясь в описание деталей вопроса, он оставался одинаково ясен и занимателен, прост и приятен»¹.

Свою теорию электричества Франклин изложил уже в первых письмах. *Он принимает только один вид электрической материи и считает, что она содержится в определенном количестве во всяком теле. Если содержание ее в двух телах настолько нормально, что не происходит особого скопления электричества на поверхности, то эти тела не обнаруживают электрического взаимодействия. Если же она в обоих телах*

¹ Whewell, Gesch. d. ind. Wissensch., том III, стр. 17, прим. (имеется русский перевод Цзвель «История индуктивных наук». Прим. ред.).

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ФРАНКЛИНА 293

имеется в избытке или, наоборот, в меньшем против нормы количестве, то тела отталкиваются. Если, наконец, электрической материи имеется в одном теле избыток, а в другом недостаток, то тела взаимно притягиваются.

Тело наэлектризовывается либо принимая электричество, либо отдавая его; при трении тел друг о друга одно столько же принимает электричества, сколько другое его отдает. «Отсюда,— говорит Франклин, — у нас произошли некоторые новые обороты речи. Под *B* мы подразумеваем тело, которое получает искры из стекла, и такие тела вообще называем наэлектризованными «положительно, а под *A* мы понимаем тела, которые сообщают стеклу электричество, и их мы называем наэлектризованным отрицательно, или еще *B* плюс наэлектризовано и *A* минус наэлектризовано».

Франклин, по-видимому, ничего не зная о теории Дюфэ, с ее стеклянным и смоляным электричеством. Уже позднее друг Франклина, *Киннерсли* из Бостона указал ему, что его положительное электричество совладевает со стеклянным, а отрицательное — со смоляным. В пользу своей теории Франклин приводит следующий основной опыт: когда изолированный человек натирает стеклянную трубку, то никакого различия электричества не обнаруживается, так как истечение электричества невозможно; но стоит другому изолированному человеку извлечь из трубки искру, и оба человека оказываются наэлектризованными. Но наибольшее сочувствие вызвало у физиков его удобопонятное *объяснение лейденской банки*. Открыв, что обе обкладки заряженной банки имеют противоположные электричества, он следующим образом объяснил процесс заряжения. Электричество с одной обкладки не может проникнуть через стекло к другой, но может влиять через него отталкивающим образом на электричество другой обкладки. Когда электричество сообщается внутренней обкладке банки, оно отталкивает равное количество электричества из наружной обкладки в землю. Вследствие этого внутренняя обкладка становится положительно электрической, а наружная — отрицательно электрической. Отсюда возникает напряжение электричества, которое через стекло выровняться не может, но выравнивается через проводник, сообщаящий внутреннюю обкладку с наружной. После этого Франклин проделал опыт постепенного разряжения банки, перенося много раз посредством маленького пробкового шарика, подвешенного на нити, электричество с внутренней обкладки на наружную. Он заметил также и опять-таки объяснил, исходя из своей теории, что *банку можно заряжать и наоборот, а именно сообщая электричество наружной обкладке, а внутреннюю приведя в соединение с землею*. Наконец, он нашел, что *в лейденской банке электричество сосредоточено не на обкладках, а на поверхностях стекла*. Для доказательства этого он воспользовался устроенной Бевисом листовой формой усилительной банки, но при этом обкладки он сделал съемными.

Гипотеза Фраклина о единой электрической жидкости была тотчас же сочувственно принята физиками, а его *теория громоотвода*, наоборот, вызвала очень продолжительные споры. По-видимому, в грубой форме громоотводы были известны уже в древности. Д-р Мунк пишет

294 ГРОМООТВОДЫ

в «Видеманновских анналах» (т. I, стр. 320), что в Талмуде, (Тозефта Суббота VII, конец), встречается следующее место: «Кто ставит железо на дворе, тот преступает запрет подражания языческим обычаям, но употреблять его как защиту от грома и молнии позволено». Отсюда следует, по словам Мунка, что между IV и V столетиями н. э. было уже известно влияние молнии на металлы, и существовали приспособления вроде франклиновского громоотвода. Редакция «Анналов» добавляет к этому со своей стороны, что египтяне, по-видимому, употребляли в качестве громоотводов у входов в свои храмы высокие шесты с обитыми медью верхушками. Но если громоотводы и существовали, то в основе их лежало, конечно, одно лишь наблюдение, что молния ударяет всего легче в высокие, острые предметы, так как древность и не подозревала электрической природы молнии, не будучи знакома с электрической искрой. Мы выше видели, что мысль о тождестве последней с молнией была высказана впервые Валлем и Грэм, да и то в виде предположения, так как тогда не была еще известна лейденская банка с ее сильным действием. Честь первого подобного определенного утверждения принадлежит *Винклеру*, который в брошюре 1646 г.: «Von der Stärke der elektrischen Kraft in gläsernen Gefässen» («Об электрической силе в стеклянных сосудах») указывал что *единственное различие между искрой лейденской банки и молнией заключается в силе электричества*.

Франклин с его практическим умом не мог удовольствоваться объяснением молнии как электрического разряда; ему нужно было не только это доказать, но также использовать это явление на благо человечества. *Уже в 1750 г. он предложил поставить на башне высокий железный шест, чтобы с его помощью извлекать электричество из облаков*. Однако прежде чем он сам привел этот план в исполнение, француз *д'Алибар* поставил в мае 1752 г. в окрестностях Парижа, в Марли, железный шест в 40 футов длиной и изолировал его снизу. Караульным к шесту был приставлен столяр *Куафье*, который вечером 10 мая 1752 г., услышав сильный удар грома, в присутствии многих лиц, как священник из Марли и др., извлек из него в банку ряд ярких искр. Вскоре затем этот опыт был повторен с тем же успехом *Делором*, поставившим на своем доме в Париже шест в 99 футов длины. Позднее эти опыты были многократно повторены — некоторые в присутствии короля — теми же лицами, а также Бюффоном, Мазеасом и Лемонье.

Лишь месяц спустя после этих опытов, произведенных французами, и, не зная, конечно, о них, Франклин приступил к выполнению своего плана, но в более простой форме, так как он боялся огласки и насмешек в случае неудачи. В июне 1752 г. в поле, на котором стояла удобная хижина, он пустил на пеньковой бечевке змея, снабженного железным острием. К нижнему концу бечевки был привязан в качестве кондуктора ключ, а бечевку он держал не прямо в руке, а посредством привязанного к ней тонкого шнура. При первой же грозе, когда дождь смочил бечевку, волокна ее распыжились, и ему удалось извлечь из ключа пальцем несколько искр. Застраховав себя таким образом от неудачи, он установил на крыше собственного дома изолированный железный

шест и для удобства наблюдения направил электричество через этот провод и даже поместил внизу провода электрический звонок, чтобы электричество заявляло само о своем присутствии. С этим приспособлением он стал непрерывно следить за атмосферным электричеством; о результатах его наблюдений мы скажем ниже.

Свою *теорию громоотвода* Франклин изложил подробно в письме от 17 сентября 1753 г. Он указывает, что *молния перестает действовать разрушительно, когда ее достаточно отводят*; для такой цели он считает достаточными уже железные прутья в $\frac{1}{4}$ дюйма в диаметре. Чтобы предотвратить взрывчатый разряд через громоотвод, он предлагает заострять верхний конец шеста, так как он уже раньше заметил, что с *металлического острия электричество стекает постепенно, без внезапных разрядов*. Острие громоотвода имеет, следовательно, целью извлекать электричество из облаков не сразу, а постепенно. Громоотводы распространились в Америке с чрезвычайной быстротой. В Европе первый громоотвод был устроен в 1754 г. священником *Прокопом Дивишем*¹, около Цнайма в Моравии. В Англии Уатсон устроил громоотвод в 1762 г. В Гамбурге на башне Иакова поставили громоотвод в 1769 г. Несмотря на это *согласия по вопросу о наилучшем устройстве громоотвода не было*. Очень заслуженный в области электричества Бенджамин Уильсон (1708—1788 гг., член Королевского общества) считал крайне опасным направлять на здания такую страшную силу, как молния, посредством острых шестов и предлагал снабжать конец проводника вплотную над самой крышей шарами, которые сделали бы молнию безвредной, не притягивая ее в то же время к себе. Много писали за и против этого предложения, производили даже опыты, но к положительному решению не пришли. В конце концов, большинство, однако, склонилось на сторону воззрений Франклина, и Королевское общество отказалось принимать дальнейшие доклады своего сочлена Уильсона против остроконечных громоотводов.

С чисто теоретической точки зрения *атмосферным электричеством* занимались многие исследователи. Франклин сначала нашел, что облака во время грозы наэлектризовываются большею частью отрицательно, но вскоре стал находить в них и противоположные заряды. Кантон наблюдал, что электричество облаков во время грозы часто меняет свой знак, даже пять-шесть раз в течение получаса. Лемонье сделал важное открытие, что *воздух и при отсутствии грозы содержит электричество*. В Италии этим вопросом занимался с большим успехом *Джиованни Баттиста Беккариа* (1716—1781 гг., профессор физики в Турине).

¹ В венской газете «Neue Freie Presse» сообщают, что в библиотеке Венской электрической выставки (1883) хранятся рукописные документы, из которых видно, что священник Прокоп Дивиш в Прендице около Цнайма устроил 15 июня 1754 г. громоотвод в 22 клафтера вышины и изобрел этот прибор независимо от Франклина. Так как Франклин изложил свою мысль о разряде молнии уже в 1750 г., а в 1753 г. дал теорию громоотвода, то доказать полную независимость Дивиша от Франклина кажется нам делом очень трудным.

Впрочем, в 1756 г. Дивиш принужден был снять свой громоотвод, так как его прихожане приписали необычайную сухость лета в этом году громоотводу священника.

296 АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. ГИБЕЛЬ РИХМАНА

В его многочисленных сочинениях (с 1753 по 1773 гг.) изложена, между прочим, даже *теория грозы*. Согласно этой теории на земле в некоторых местах скопляется избыток электричества, отсюда он переходит в облака, переносится ими в места, где электричества мало, и разряжается здесь в землю грозой. Теория эта проста и понятна, но не объясняла главного — отчего в отдельных местах на земле появляется избыток электричества.

Дальнейшему быстрому распространению исследований по атмосферному электричеству сильно помешал несчастный случай с наблюдателем, показавший опасность подобных наблюдений. *Нолле* еще в 1753 г. рекомендовал большую осторожность при подобных опытах. 7 июня того же года *де-Рома* два раза был принужден просить публику отойти подальше от змея в 18 кв. футов поверхности, поднявшегося на высоту 550 футов, так как электрическое действие его было очень сильное. Он сам, вероятно, не пострадал только благодаря тому обстоятельству, что от внезапной перемены ветра змей упал на землю. Говорят, что *Лемонье* и *Бертье* были сшиблены с ног молнией, которую они извлекли из облаков. Но наибольшее несчастье случилось вскоре после упомянутых опытов *де-Рома*. *Георг-Вильгельм Рихман* (1711—1753 г. с 1745 г. профессор естественной истории в Петербурге) установил на крыше своего дома железный шест и, отведя от него внутрь дома проволоку, кончавшуюся в стеклянном сосуде с медными стружками, прикрепил к проволоке нить с тем, чтобы по ее отклонению, измеряемому с помощью квадранта, определять напряжение атмосферного электричества. 6 августа 1753 г., желая наблюдать во время грозы действие своего показателя, он приблизился к нему и на расстоянии фута был поражен насмерть огненным шаром, вылетевшим из металла. Стоявший поблизости помощник его, гравер Соколов, был только оглушен разрядом. Этот печальный случай, указавший на необходимость крайней осторожности, принес свою долю пользы тем, что побудил устраивать заземление громоотвода более тщательно и время от времени проверять ее надежность.

Рихман пользовался еще для измерительных целей отклонением *одной* лишь нити, *Нолле* уже более целесообразно пользовался для этого *двумя нитями*, а *Кантон* прибавил к ним бумажные шарики и устроил таким образом около 1753 г. применяемый и до сих пор *электроскоп*. Вообще *Джон Кантон* (1718—1772) имеет большие заслуги в области физики вообще и учения об электричестве в частности. Он до конца жизни стоял во главе частного учебного заведения в Лондоне и был настолько предан интересам науки, особенно опытной физики, что справедливо считается одним из передовых деятелей в области последней. Заслуги его были оценены Королевским обществом, сделавшим его своим сочленом и наградившим Кантона уже в 1751 г. золотой медалью за его способ намагничивания стали исключительно земным магнетизмом. С 1752 г. он стал заниматься электричеством, и уже в конце следующего года впервые показал, что оба рода электричества вовсе не связаны с природой тел, как до тех пор думали, что *из многих тел, смотря по свойствам их поверхностей и свойствам тлеющего вещества можно извлекать тот или другой род электричества*; что даже стекло

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С ПЛОСКИМ ДИСКОМ 297

электризуется не всегда положительно; так, от натирания фланелью полированные стекла оказываются наэлектризованными отрицательно. Позднее он *усовершенствовал подушку в электрической машине*. Опыты над свечением барометров привели его к электризации стекла посредством ртути, а позднее (в 1762 г.) побудили накладывать *на трущую подушку в его цилиндрической машине, состоящую из намащенной шелковой ткани, смесь оловянной амальгамы с небольшим количеством мела*. По окончании этих работ он обратился к другим отделам физики. В 1762 г. Кантон получил вторую золотую медаль за *доказательство сжимаемости воды*. В 1786 г. он открыл новое *фосфоресцирующее вещество*, так называемый *кантонский фосфор*, добытый из смеси устричных раковин с серой, а в 1769 г. представил в Королевское общество работу о *свечении моря*, в которой он это явление объяснил гниением в морской воде содержащегося в ней слизистого органического вещества.

В заключение остается упомянуть еще об изобретении электрических машин с плоскими дисками. Вначале они, по-видимому, мало обратили на себя внимания, потому что за период времени с 1755 по 1766 г. объявилось не менее четырех изобретателей такой машины, в правах которых разобраться довольно трудно. Пожалуй, наибольшие права на первенство имеет *Мартин Планта* (1717—1782 г., директор семинарии в Гальденштейне), который уже в 1755 г. употреблял дисковую машину при своих опытах. Парижский врач, *Сиге де-ла-Фон* (1740—1810) уверяет, что он устроит подобную машину в 1756 г., но признается, что оставил эту мысль, когда первый диск у него треснул Доктор *Джен Ингенгоуз* (1730—1799 г., практический врач, член Королевского общества) изобрел по его словам эту машину в 1764 г., ввел ее в употребление и показывал ее Франклину в бытность последнего в Англии.

Однако в общее употребление машины с плоскими дисками были введены лишь в 1766 г. механиком *Джессе Рамсденом* (1735—1800 г., зять Доллонда), который в свою очередь также считает себя изобретателем этого вида электрической машины.

Ньютон полагал, что дисперсия света во всех средах находится в прямом отношении к преломлению, поэтому он считал невозможным устранение дисперсии без уничтожения преломления. Это свое убеждение он вывел из следующего опытного факта: если световые лучи проходят через две соприкасающиеся среды разной плотности с параллельными или непараллельными поверхностями преломления, например через воду и стекло, и если преломления в этих средах взаимно уравниваются так, что падающие и выходящие лучи оказываются параллельными друг другу, то выходящий свет всегда белый. Эйлер в своем трактате «*Sur la perfection der verres objectifs des lunettes*» («*Mem. d. Berl. Ak.*» 1747) хотя и не оспаривает опыты Ньютона, но замечает, что *по крайней мере глаз наш представляет собой оптический прибор, который хотя и сводит падающие на него лучи в изображения, но цветорассеяния не дает*. Такое свойство глаза он объясняет тем, что он состоит из многих преломляющих сред, и предлагает устраивать ахроматические стекла для труб и микроскопов сочетанием двух

298 ИЗОБРЕТЕНИЕ АХРОМАТИЧЕСКОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

стеклянных чечевиц со слоем воды между ними. *ДЖОН ДОЛЛОНД*¹ горячо ухватился за идею Эйлера, но, продолжая держаться основного опыта Ньютона, пришел к выводу, что ахроматизм может получиться лишь при бесконечно большой ширине чечевицы. Эйлер защищал свое воззрение в трактатах в 1752 и 1753 гг. и получил, наконец, поддержку со стороны упсальского профессора математики *Самуила Клингенштьерна* (1698—1765). Последний в статье, напечатанной в 1754 г. в «Kongl. Swenska vetenskaps academiens handlingar» и посланной им также Доллону, утверждал, что опыт Ньютона не совсем точен, так как при его условиях *выходящий свет никогда не бывает вполне белый, а всегда несколько окрашен*. Тогда Доллонд повторил опыт Ньютона и убедился в правильности утверждения Клингенштьерна. Придя к выводу, что лучи, ставшие после преломления в воде и стекле параллельными, действительно остаются окрашенными, он попытался получить обратное, т. е. уничтожить окрашенность, сохранив преломление. Однако многочисленные опыты показали ему, что сочетание воды и стекла для этой цели неудобно, так как разница в их дисперсии недостаточно велика. Из всех известных в Англии сортов стекла наиболее подходящими для ахроматических чечевиц, благодаря значительной разнице в дисперсии, оказались кронглас и флинтглас. *В 1757 г. ему удалось устроить первую ахроматическую зрительную трубу, а в 1758 г. он усовершенствовал ее, составив ахроматическую чечевицу не из двух, а из трех стекол*². Эйлер отнесся вначале недоверчиво к открытию, сделанному не по его плану, полагая, что большая ясность изображений в доллондовой трубе происходит не от ахроматизма, а от уменьшения сферической аберрации, но вскоре убедился в полном успехе Доллонда. Доллонд опубликовал свое открытие без указания точных размеров; поэтому другим оптикам подражание его приборам не удавалось, и приготовление ахроматических зрительных труб долгое время оставалось монополией семьи Доллонов. Самые выдающиеся ученые пытались теоретически вывести правило приготовления таких стекол, но это долго им не удавалось. Сами Доллоны признавались, что подходящие размеры стекол были ими найдены в результате тщательных проб и что различия в качестве отдельных сортов стекла делали невозможным строгое применение теории. Клеро занимался этим вопросом во многих трактатах, начиная с 1761 г.; д'Аламбер — тоже, Эйлер работал над ним в течение 1769—1771 гг., вплоть до выхода в свет его «Оптики»; наконец, той же задачей продолжал заниматься и Клингенштьерн, получивший в 1762 г. за одну из этих работ премию Петербургской академии. В заключение следует еще упомянуть, что *Давид Грегори* уже к 1695 г. в своей «Catoptricae et dioptricae sphaericae elementa» говорит по поводу зрительной трубы: «Было бы, вероятно, полезно составлять

¹ 1706—1761 г., был сначала ткачом шелковых тканей. В 1752 г. основал вместе со своим сыном Петром, находившимся в учении у оптика, мастерскую оптических инструментов.

² Две ахроматические зрительные трубы Доллонда 1758 г. находятся в Королевском физико-математическом зале в Дрездене (Gerland, Leopoldina. XVIII, 1882).

МИКРОСКОПЫ. СОЛНЕЧНЫЙ МИКРОСКОП 299

объектив зрительной трубы из различных сред, как это устроено в глазу природой, которая ничего не делает зря». Далее, у *Рудольфа Вольфа* («Gesch. d. Astron.», стр. 585—586) имеется указание, будто эссекскому эсквайру из Мор-Голла Честеру уже в 1733 г. удалось устроить маленькую ахроматическую трубу. По поводу последнего случая *Лаланд* утверждает, что некто *Честерморголл* имел уже в 1750 г. план устройства ахроматической зрительной трубы и поручил выполнение его другим лицам, что *Доллонд* узнал об этом через третьи руки и выполнил этот план. Все это, по словам *Лаланда*, было доказано во время процесса, который *Доллонд* все-таки выиграл на том основании, что он первый устроил и ввел в употребление ахроматическую зрительную трубу¹.

Новое изобретение попытались скоро применить и к устройству микроскопа, но здесь дело оказалось гораздо труднее. Хорошие сложные микроскопы впервые стали готовить *Эвастахио Дивини* и *Гук*; в общих чертах устройство их сохранилось и доныне. После того как *Ньютон* устроил *зеркальный телескоп*, пытались устроить и *зеркальный микроскоп*, но когда это не удалось, остались на долгое время при простом микроскопе, и только открытие ахроматизма подвинуло это дело. *Эйлер* посвятил микроскопу значительную часть третьей книги своей «Диоптрики» (Петербург, 1769—1771), и по его указаниям *Фусс* готовил хорошие приборы. Около 1770 г. был известен своими микроскопами и *Дельбарр* в Гааге его инструменты рекомендовались *Монтюкла* (*Лаланд*). *Солнечные микроскопы*, по утверждению *Кестнера*, были уже в 1679 г. известны кильскому профессору *Самуилу Рейеру*. Большую известность они приобрели благодаря д-ру *Либеркюна*, который привез с собой солнечный микроскоп в 1739 г. в Англию и представил его Королевскому обществу. Большие *зеркальные телескопы* готовил сначала *Джон Гадлей*; в 1723 г. он представил Королевскому обществу экземпляр в 6 футов длиной, устроенный по идее *Ньютона*, но позднее он вернулся к инструментам типа *Грегори*. *Зеркальный секстант* был описан *Гадлеем* в 1731 г.; но подобный же инструмент был устроен *Томасом Годфри* еще ранее 1730 г., а теория этого инструмента была дана *Ньютоном* в 1699 г. Возможно, что *Гадлей* знал об изобретении *Годфри*, но ньютоновское описание было найдено лишь в 1742 г.

Этому же периоду обязана своим возникновением новая отрасль оптики — *ФОТОМЕТРИЯ*. Основателями ее были *БУГЕ* и *ЛАМБЕРТ*. *Пьер Буге* родился 16 февраля 1698 г. в Бретани; воспитывался он в Ваннской иезуитской школе и уже здесь проявил большие способности к математике. В 1729 г. появилась его работа «Essai d'Optique sur la gradation de la lumiere», в которой уже были развиты основы его фотометрии. Сочинение это вызвало большой интерес, а так как Парижская академия уже ранее обратила внимание на некоторые другие работы *Буге*, то в 1731 г. она избрала его в свои члены. С 1735 по 1743 г. он участвовал в работах градусоизмерительной комиссии *Кондамина* в Перу. По возвращении оттуда он занялся дальнейшей

¹ *Montucla*, Histoire, III, стр. 448—449.

300 ФОТОМЕТРИЯ. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

разработкой своих прежних оптических исследований, пользуясь при этом наблюдениями, сделанными им в Перу; но последствия пребывания в жарких странах, а может быть, отчасти, враждебные столкновения с Кондамином свели его 15 августа 1758 г. в могилу. Оставшийся после него основной труд по оптике был издан его другом *Лакайлем* под заглавием: «Traite d'Optique sur la gradation de la lumière» (Париж, 1760)

Буге изобрел несколько приборов для сравнения и измерения силы света, идущего из различных источников, но все они основаны на одном и том же принципе, чтобы освещение предмета сравниваемыми источниками было одинаково. Из расстояний последних или из других моментов, с помощью которых получалось равенство освещения, и определяется сравнительная сила света. Чтобы точно определять равенство освещения, Буге обыкновенно направлял свет от сравниваемых источников на два рядом стоящих прозрачных или непрозрачных экрана. Значит, по идее его приборы приближались к известному фотометру Риччи. При помощи подобных фотометров Буге нашел, что *при отражении от металлического зеркала свет ослабляется сильнее чем при отражении от стеклянного; что поглощение света зависит от угла отражения, а именно, что при наименьшем угле отражения и поглощение всего меньше. Наименьшее поглощение из всех зеркально отражающих тел вообще наблюдается у ртути. Наибольшие различия поглощения при различных углах падения дает вода.* Так, на 1000 падающих лучей вода при угле наклона луча в $2\frac{1}{2}^{\circ}$ отражала 614 лучей, а при наклоне в 90° — всего 18, тогда как соответствующие величины для зеркального стекла (без металлической подкладки) были 584 и 25.

При прохождении света через стеклянные пластинки и слои морской воды поглощение по мере увеличения толщины слоев растет в геометрической прогрессии. При прохождении света через атмосферу поглощение зависит от высоты светила. Если, например, принять силу света какой-нибудь звезды при вступлении в нашу атмосферу равной 10 000, то величина эта после прохождения через атмосферу при высоте звезды в 90° , составляет 8123, при высоте в 10° составляет 3149, а при 5° — только 1201. Буге определял также *различную яркость небесного свода на различных расстояниях от солнца*, и — что всего важнее — *ему удалось сравнить силу света Луны и Солнца.* Он нашел, что *Солнце в среднем в 300 000 раз светлее полной Луны* при равной высоте над горизонтом. Этим он и объяснил, почему при собирании лучей лунного света чечевицей не получается заметного тепла. При этом оказалось, что интенсивность солнечного света не по всему солнечному диску одинакова; посередине она больше, чем по краям; на диске луны имело место как раз обратное отношение.

Преемник Буге на трудном поприще фотометрии, *Иоганн Генрих Ламберт*, сын бедного эльзасского портного из Мюльгаузена, родился в 1728 г. Благодаря прекрасному почерку он в 15 лет получил место писаря, затем сделался секретарем базельского профессора Изелина, на конец — домашним учителем у президента Салиса в Хуре. Здесь он имел достаточно времени и возможности закончить свое научное образование. В 1759 г. появилось его первое сочинение: «Freie Perspective»; за ним в 1760 г. последовал его главный труд «Photometria sive de men-

sura et gradibus luminis, colorum et umbrae», напечатанный в Аугсбурге, а за этим в 1761 г. — две брошюры: «Ueber Kometenbahnen» и «Kosmologische Briefe über die Einrihtung der Weltbaues».

В 1764 г. его пригласил в Берлин Фридрих Великий и назначил членом академии и главным инспектором строительных работ (Oberbaurath). 25 сентября 1777 г., подготавливая к печати новое сочинение «Pyrometrie oder von Maass des Feuers und Wärme», он умер в Берлине. Сочинение это вышло после его смерти в 1770 г.

В своей *фотометрии* Ламберт идет еще более основательным путем, чем Буге. *Прежде всего, он старается установить общие принципы измерения света, исходя из них он определяет силу света в отдельных случаях с тем, чтобы найденные величины сравнить с действительными наблюдениями.* Он сначала различает абсолютную яркость светящегося предмета, освещенность или яркость освещенного предмета и, наконец, видимую или ощущаемую нашим глазом яркость. Соответственно этому он устанавливает следующие основные положения для фотометрии 1) *Видимая яркость предмета есть частное от деления количества света на величину изображения на сетчатке.* 2) *При прочих равных условиях, освещение, получаемое небольшим предметом от светящейся точки, обратно пропорционально квадрату его расстояния от этой точки.* 3) *Если освещенная поверхность наклонена по отношению к излучающему свет телу, то сила этого косого освещения пропорциональна произведению нормального освещения на синус угла наклона лучей к освещенной поверхности.* 4) *Если обозначить через S угол истечения для светящегося элемента поверхности F и через J — блеск последнего, то количество исходящего от него света пропорционально выражению: $F \cdot J \cdot \sin S$ ¹.*

Из этих общих положений Ламберт выводит математическим путем много законов, касающихся освещения тел в различных условиях. Затем, подобно Буге, он занимается определением количества света, отражающегося от зеркального стекла и проходящего через него, и т. п. Относительно яркости звезд при разных высотах он дает гораздо меньшие числа, чем Буге. Если силу света вне нашей атмосферы принять равной 1,0000, то после прохождения через атмосферу при высоте звезды в 90° она равна 0,5889, при 10° равна 0,0476 и т. д. *Отношение яркости солнца и полной луны, по его наблюдениям, равно 277 000*, т. е. приблизительно то же, что у Буге; однако этим числам он и сам не придает большого значения². *Яркость луны в различных фазах он, наоборот, вычисляет с большой точностью и дает также сравнительную яркость планет.* Последнюю часть его труда составляют расчеты и опыты, касающиеся силы окрашенного света и теней. Для сравнения света пламен Ламберт пользуется интенсивностью теней, отбрасываемых тонкой палочкой, освещенной сравниваемыми источниками света, на большую поверхность. Следовательно, собственно ему при-

¹ Угол истечения есть угол, образуемый световым лучом с поверхностью светящегося тела; блеск есть абсолютная яркость единицы поверхности.

² Из позднейших физиков для сравнительной силы света солнца и луны дают: Волластон (1709) 801072; Бонд (1860) 470 080; Целльнер (1865) 618 000 или 619 000.

302 ФОТОМЕТР. ПИРОМЕТР

надлежит принцип *фотометра*, приписываемый в последнем его виде Румфорду. Расхождение чисел у Буге и Ламберта и неточность их сравнительно с позднейшими результатами не представляет ничего удивительного, так как именно в деле определения силы света глаз наш оказывается подчиненным множеству субъективных условий. *Во всяком случае следует признать, что Буге первый начал научно-экспериментальную работу по измерению света, а Ламберт дал этому вопросу теоретические основания, сохраняющие свое значение до настоящего времени.*

В своей *пирометрии* Ламберт занимается вообще *измерением тепла*; следовательно, здесь речь идет не об измерениях одних только высоких температур, как это понимают теперь под пирометрией. Впрочем, и он отличает пирометры от термометров как приборы для измерения более высоких температур, выходящих за пределы выносливости наших органов чувств. Собственно *первый пирометр*, вроде употребляемых ныне металлических, был *устроен в 1731 г. Мушенбреком* и описан им в усовершенствованном виде в его «Introductio ad philosophiam naturalem» (т. II, стр. 610). Он состоял из металлического стержня, укрепленного одним концом неподвижно, а другим приводящего (при тепловом расширении) в движение показатель. Впрочем, этим прибором Мушеибрек имел в виду не столько измерять температуры, сколько определять расширение металлов и других твердых тел, как кусочки стекла и т. п. *Пирометрия в ее теперешнем смысле начинается лишь со времени Джосии Веджвуда (1730—1795 г., горшечник, изобретатель фаянса), который описал в «Philos. Transact.» в 1782 г. свой знаменитый глиняный пирометр, вызвавший массу проверочных наблюдений, но оказавшийся, к сожалению, недостаточно надежным.*

Теорию *электрического влияния*, или электрической *индукции*, хотя и не под этим названием, основывают двое немецких ученых ЭПИНУС и ВИЛЬКЕ. Кантон («On some new electrical experiments», «Phil. Trans.», 1754) при посредстве своего электрометра с пробковыми шариками точно исследовал несколько удивительных явлений электричества, до того мало обращавших на себя внимания. Именно, он заметил, что *пробковые шарики начинают расходиться уже при одном приближении к наэлектризованному телу, прежде чем к нему прикоснуться и до того как на них перескочит электричество; с удалением же от наэлектризованного тела они снова спадаются.* Разнообразя эти опыты на много ладов, он пытался объяснить это явление с точки зрения существовавшей тогда теории. Последняя все еще находилась более или менее бессознательно под влиянием картезианских воззрений, придерживая идеи истечения из тел электрической материи (что хорошо согласовывалось и с гипотезой Франклина). Согласно этой теории выходило, что наэлектризованное тело, смотря по степени его электризации, окружено более или менее обширной электрической атмосферой. Этой-то атмосферой и объяснялись те явления, которые наблюдал Кантон. Если два бузиновых шарика, приближенные к наэлектризованному телу, взаимно отталкиваются, это еще не значит, что они наэлектризовались, — они отталкиваются потому, что попали в атмосферу на-

ВИЛЬКЕ. ЭПИНУС. СФЕРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 303

электризованного тела; по этой же причине вслед за удалением из атмосферы они спадаются, не проявляя никаких признаков электричества. Однако названные выше физики Вильке и Эпинус в скором времени открыли ряд явлений, сделавших изложенные объяснения недостаточными.

Иоганн Каря Вильке, сын священника в Висмаре, родился 6 сентября 1732 г. Учился он в Гёттингене и Ростоке, затем жил некоторое время в Берлине, где производил опыты «месте с Эпинусом. Переехав отсюда в Стокгольм, он читал там лекции по физике, сделался вскоре членом шведской академии наук и умер в Стокгольме 18 апреля 1796 г. Уже в своей диссертации «*De electricitatibus contrariis*» (Росток, 1757) он привел исследования Кантона в теоретический порядок и прибавил к ним следующее принципиально важное наблюдение. *Если к телу, находящемуся в электрической атмосфере другого, прикоснуться проводником и затем вывести из этой атмосферы, то в нем оказывается присутствие некоторого количества электричества и притом противоположного знака.* Таким образом предстояло разрешить загадку, действительно ли тело остается индифферентным, находясь в электрической атмосфере другого, или же оно наэлектризовывается противоположным электричеством.

Франц Ульрих Теодор Эпинус, тоже сын пастора, родился 13 декабря 1724 г. в Ростоке, был сначала приват-доцентом в родном городе, потом профессором в Берлине и, наконец, академиком в Петербурге. Умер он в Дерпте в 1802 г. Его главное сочинение «*Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*» (Петербург 1759) составило некоторым образом эпоху в учении об электричестве и магнетизме. Он устранил из учения об электричестве картезианские представления об истечениях и ввел вместо них ньютоновские воззрения на непосредственное действие силы на расстояние — *actio in distans*. Наэлектризованное тело не имеет вокруг себя никакой атмосферы, кроме прилежащего воздуха, которому оно отдает несколько электричества; но всякое наэлектризованное тело действует до определенного расстояния отталкивающим образом на электричество окружающих тел. Соответственно этому Эпинус заменил выражение «электрическая атмосфера» более нейтральным термином «сфера электрического действия» и очень остроумно объяснил новые интересные явления как результат действия на расстоянии. *Если к положительно наэлектризованному телу приблизить другое, то первое отталкивает из второго электрическую жидкость, содержащуюся нормально во всяком ненаэлектризованном теле; и если теперь прикосновением ко второму телу отнять его электричество, то по отдалении его от первого в этом теле оказывается недостаток электричества, т. е. оно становится отрицательно наэлектризованным.* Из этого объяснения видно, что в то время Эпинус пользовался еще теорией Франклина; да и вообще он вместе с Вильке много способствовал ее развитию. Легко, однако, видеть, что это объяснение содержало в себе уже задатки несостоятельности принятой теории. Эпинус считает естественным, что электрическая материя, отталкивая сама себя, притягивает другие вещества; так как, однако, и отрицательно наэлектризованные тела, т. е. тела с недостатком электричества, взаимно отталкиваются, то, следуя Эпи-

304 ДУАЛИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА СИММЕРА

нису, нужно было бы приписать отталкивательную способность и обыкновенной материи, что, однако, трудно согласовать с ньютоновской теорией притяжения. Эпинус хотя и боялся такого вывода, но, не находя лучшего объяснения, все-таки остался при нем и соответственно построил и теорию магнетизма. *И магнитные явления являются результатами действия особой жидкости, которая способна перемещаться и теле и в результате взаимного отталкивания своих частей собираться в одной точке тела, так что в этом случае один полюс имеет избыток, а другой — недостаток магнитной жидкости.*

Необходимость допущения отталкивательной способности обыкновенной материи, наряду с противоположными требованиями ньютоновского воззрения, была той слабой стороной теории, которая облегчила победу дуалистической теории электричества англичанина Роберта Симмера. О последнем с биографической стороны известно только, что он был с 1753 г. членом Королевского общества и умер 10 июня 1763 г. Свои электрические работы он изложил в «Phil. Trans.» за 1750 г. под заглавием: «New experiments and observation concerning electricity: 1) of the electricity human body, and the animal substances, silk and wool; 2) of the electricity of black and white silk; 3) of electrical cohesion; 4) of two distinct powers in electricity». Путь, которым он в 1759 г. пришел к своим открытиям, очень любопытен. Симмер носил на ногах две пары шелковых чулок, черную и белую, одну поверх другой. Снимая их поодиночке, он заметил, что чулки оказывались сильно наэлектризованными, причем чулки одного и того же цвета взаимно отталкивались, но белый и черный взаимно притягивались. Это навело его на мысль допустить существование во всех ненаэлектризованных телах противоположных электричеств, которые настолько нейтрализуют или связывают друг друга, что ни одно из них не может обнаружиться. Наэлектризованным тело становится, значит, тогда, когда в нем имеется только один вид электричества или, по крайней мере, избыток одного вида над другим.

Если еще вдобавок принять, что свободные однородные виды электричества отталкиваются, а разнородные притягиваются, то законы электрического притяжения и отталкивания станут понятны, как и в, теории Франклина, без необходимости прибегать к отталкивательной силе между частицами материи. В пользу своей теории Симмер приводит, между прочим, тот факт, что когда электрическая искра пробивает бумагу, края отверстия оказываются загнутыми в обе стороны. *Вначале между учеными держалось мнение, что обе теории одинаково хорошо объясняют явления, и преимуществу отдавалось даже старой, т. е. теории единой электрической жидкости. Но вскоре стала одерживать верх дуалистическое воззрение и, как более удобное, оно достигло, наконец, исключительного господства.* В сущности, впрочем, теория Симмера была не новее, а старее теории Франклина, так как ее излагал уже раньше Дюфэ, чего Симмер, по-видимому, не знал. В 1762 1763 гг. Вильке занимался изучением медленных электрических разрядов через остря, которые Франклин объяснял для случая положительного заряжения усиленным отталкиванием частиц электрической жидкости. Установив существование электрического ветра с остря, и

в том случае, когда последнее наэлектризовано отрицательно, Вильке пришел к мысли, что это явление свидетельствует не о недостатке электричества, а о существовании особой отрицательной электрической жидкости. По тем же самым основаниям *Торберн Олоф Бергманн* (1735—1784 г.), профессор физики и химии в Упсале, ученик Линнея, превосходный химик и минералог) отказался от франклиновской теории в пользу старого воззрения Дюфэ или новой теории Симмера.

Одновременно с Вильке исследованием разрядов с острия занимались Уильсон, Уатсон, Чарльз Кэвендиш и Франклин, причем они обратили особое внимание на *свечение истекающего электричества*. Уатсон заметил, что *в пустоте электричество переходит на гораздо большие, чем обычно, расстояния, распространяясь от одного тела до другого, подобно северному сиянию, пучками блестящих лучей*. Он нашел, таким образом, что торичеллиева пустота проводит электричество лучше воздуха. В своей статье «*De electricitatibus contrariis*» Вильке изложил свои опыты по свечению электричества при медленных истечениях и указал, что свет истекает в виде конуса, обращенного своим основанием к положительно наэлектризованному телу, а вершиной к отрицательному, подобно тому как Франклин это принял для своей теории. Но позднее он сообщил результаты своих опытов¹, при которых он усиливал электрическое свечение тем, что покрывал острия фосфоресцирующими веществами, и которые противоречили прежним воззрениям. Эти-то наблюдения и побудили его примкнуть к симмеровской теории. *Намазав фосфором острие и сообщив ему электричество, он наблюдал сначала исчезновение фосфорного света, окружавшего все острие, затем появились светлые лучи, распространявшиеся по воздуху почти на фут расстояния, — лучи, которые одинаково наэлектризованными телами отталкивались, а противоположно наэлектризованными притягивались*. На основании множества опытов с одним и двумя остриями» одинаково и противоположно наэлектризованными, он пришел к общему выводу, что со всякого острия истекает электрический ветер, уносящий с собой фосфорные лучи; *эти ветры действуют друг на друга механически, но сохраняют при этом, наподобие наэлектризованных тел, свойства взаимного притяжения и отталкивания*.

Тот же Вильке — однако, не он первый и не он один — исследовал *новый источник электричества*. В брошюре «*Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten von einem Liebhaber der immer gern speculirt*» (Хемниц и Лейпциг, 1707) сообщается, что голландцы привезли в 1703 г. с Цейлона камень, называемый *турмалином* или турмалем, который, будучи нагрет, притягивает к себе и отталкивает частички золы, отчего его называют также зольным камнем. Около 1717 г. *Лемери* показывал этот камень Парижской академии, и так как его притягательная сила считалась магнитной, камень получил название *цейлонского магнита*. *Линней* первый стал подозревать в нем электрические свойства и назвал его *lapis electricus*; в 1757 г. Эпинус рядом опытов, проведенных им в Берлине совместно с Вильке,

¹ Electriska försök med phosphorus (Svenska v-tenskaps Academiens Handlingar. 1763).

показал, что этот камень при нагревании приобретает электрические свойства. Эти исследователи нашли, что от нагревания противоположных сторон турмалина получаются разноименные электричества; пока эти стороны одинаково нагреты, камень остается в нормальном ненаэлектризованном состоянии, но лишь только одна сторона нагрета сильнее другой, минерал становится наэлектризованным. Эпинус изложил эти опыты в мемуарах Берлинской академии за 1756 г., а Вильке — в своей диссертации «De electricitatibus contrariis». Позднее Эпинус опубликовал собрание работ о турмалине в «Recueil des differents memoires sur le tourmaline» (Петербург, 1762); а затем этот вопрос разрабатывался Уильсоном, Кантоном, Бергманном, Пристлеем и Вильке, но без особо выдающихся результатов.

Когда вслед за Ньютоном почти все физики признали всеобщее притяжение материи, действующее непосредственно на расстояние, то притягательными силами начали объяснять также и твердость тел, волосность, упругость и пр. Картезианские начала были отсюда устранены даже скорее, чем из области магнетизма и электричества. Впрочем, здесь приходилось признавать *существование различных сил*; так, *тяготение, действующее между светилами, строго отличали от сил междуатомных, действующих на незаметно малых расстояниях*. Развивавшаяся постепенно новейшая атомистика почти не встречала заметного сопротивления. *Принятие атомных сил уже не вызывало затруднений после того, как всеобщее тяготение одержало победу в умах*; даже спор о существовании пустого пространства замолк за недостатком новых точек зрения, и только вопрос о делимости материи возбуждал еще сомнение, а *неделимость атомов встречала решительных противников*.

Лейбниц с его монадологией с философской точки зрения подошел к атомистике очень близко, но его монады были слишком странными существами, чтобы физика могла их использовать. *Эйлер* в сочинении («Von den Elementen der Körper» 1746) *выступает решительным противником Лейбница*. В виде простых элементарных вещей монады существовать не могут, так как на основании опыта все тела делимы. Если же монады признать бесконечно малыми, то возникает противоречие: из конечного числа таких бесконечно малых величин тело состоять не может; с другой стороны, тело, состоящее из бесконечного числа частей, тоже немыслимо. Некоторые другие физики тоже высказывали свои метафизические сомнения по поводу трудности теории атомов. Так, Нолле в своих «Lecons de physique» (Париж, 1743—1750) говорит, что хотя мысленно материя и бесконечно делима, но, с другой стороны, действительная делимость еще не является достоверной; в заключение он замечает, что *в силу ограниченности нашего познания этот вопрос вообще является неразрешимым*.

Боскович считает трудный вопрос о делимости атомов беспредметным и заодно *пытается свести все виды притяжения материи и ее частей на действие одной только силы*. Его труд представляет единственное натурфилософское сочинение за период времени от ньютоновских «Начал» до кантовских «Metaphysiche Anfangsgründe der Naturwissenschaft», 1786 г.

РОЖЕР ИОЗЕФ БОСКОВИЧ родился 8 мая 1711 г. в Рагузе, был с 1740 г. профессором в римском Collegio romano, потом профессором в Павии, а в 1773 г. переселился в Париж. Отсюда из-за несогласия с д'Аламбером он переехал в Милан, где и умер 13 февраля 1787 г. Свою систему он изложил сначала в ряде небольших статей, а затем в полном виде в сочинении «*Phylosophiae naturalis Theoria, redacta ad legen virium in natura existentium*» (Вена, 1759). По его мнению, *материя состоит из точек, не имеющих протяжения*, распределенных в беспредельном пустом пространстве таким образом, что взаимные расстояния их хотя и могут быть бесконечно малы, но не равны нулю. Точки не являются только местами в пространстве, это не математические, а физические точки, обладающие инерцией и определенной активной силой, благодаря которой они взаимно притягиваются или отталкиваются. *Эта активная сила во всей вселенной одна и та же, она изменяется лишь в зависимости от положения точек*. Именно, сила, действующая между каждыми двумя точками на самых малых расстояниях, *отталкивательная* и делается бесконечно большой, когда расстояние, уменьшаясь, приближается к нулю; оттого точки никогда не могут сблизиться до взаимного соприкосновения. С увеличением расстояний *отталкивательная сила* уменьшается до нуля, переходя затем в *притягательную силу*, которая вначале, с увеличением расстояния возрастает, а потом постепенно уменьшается до нуля, чтобы затем снова перейти в *отталкивательную силу*. Таких переходов уже *в пределах незаметных расстояний бывает несколько*. Но когда расстояния становятся *заметными*, эта сила переходит в известную форму *всеобщего тяготения*, которая следует известному закону обратной пропорциональности квадратам расстояний и превращается в нуль только на бесконечно больших расстояниях.

С помощью этой гипотетической силы и своих атомных точек Боскович дальше очень просто объясняет такие свойства материи, как *сцепление, упругость и тяжесть*. Между телами, находящимися на конечных расстояниях, атомные силы действуют исключительно как тяжесть; между частицами же тела на бесконечно малых расстояниях сила претерпевает описанные выше превращения. *Частицы твердых тел находятся на таких взаимных расстояниях, которые как раз соответствуют переходу силы из отталкивания в притяжение*. Если тело *растягивать*, т. е. отделять его частицы, то атомная сила проявляется в виде притяжения, стремящегося вернуть частицы в прежнее положение. Если же тело *сжимать*, то та же сила становится отталкивательной и опять-таки стремится восстановить прежнее состояние равновесия.

Для объяснения перечисленных общих свойств тел было бы достаточно одного перехода отталкивания в притяжение с одной только точкой равновесия; *прочие же переходы рассчитаны, по-видимому, преимущественно на объяснение ньютоновских приступов световых лучей*, равно как и самое строение физических точек приспособлено к тому, чтобы сделать наглядным прохождение сквозь тела световых частиц. Когда тела состоят из физических точек, то световая материя легко может проходить через них, если только ее момент движения достаточно велик для преодоления сил, в сферу действия которых попа-

308 ПРОТИВНИКИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛИ БОСКОВИЧА

дают световые частицы. Так, при большой скорости движения света последний может проходить через тела, не приводя их частичек в движение; при меньшей скорости он уже будет сообщать им заметное движение, хотя сам может еще и не быть остановлен; если же движение света еще более медленно, то световая материя, войдя в тело, может задержаться в нем полностью.

Если отвлечься от многочисленных переходов атомных сил и сохранить только начальную отталкивательную и конечную притягательную силы, то *система Босковича оказывается очень похожей на новейшую атомистику до того места, где она переходит и молекулярную теорию*. Поэтому Босковича часто называют прямым творцом атомистики, принимающей существование атомов, обладающих активными силами. Во всяком случае, он наиболее плодотворно привел в связь ньютоновские открытия с прежней атомистикой и наметил пути, по которым наука движется и в настоящее время. Тем не менее, заслуги Босковича не были по достоинству оценены особенно в Германии, где ее затемнила теория Канта, который в своих метафизических началах естествознания 30-ю годами позже Босковича присвоил материи две силы, отталкивательную и притягательную, действовавшие вместе как единая сила Босковича. В Англии и Франции система последнего встретила несколько большее сочувствие и признание, но тоже очень медленно и в ограниченном объеме. *Делюк* («*Idées sur la météorologie*») восстает против гипотезы Босковича на том основании, что сила без вещества, на которое она действует, есть лишь пустое выражение. Так же критически относится к ней и англичанин *Прайс. Пристлей* («*Hystory of optics*»), наоборот, признает себя открыто приверженцем теории Босковича и полагает, что при ее посредстве всего легче устраняются трудности теории истечения света. *Робайсон* излагает в своей «*System of mechanical philosophy*» (Эдинбург, 1882) теорию Босковича и утверждает, что она должна, во всяком случае, быть очень близкой к истинной теории. В теории Фарадея атомы, как и у Босковича, являются просто центрами сил. Наконец, *Фехнер* в своей работе «*Ueber die physikalische und philosophische Atomenlehre*» (Лейпциг, 1855, 2 изд., 1864) останавливается на теории Босковича и цитирует его работу.

Самым видным противником какого бы то ни было непосредственного действия на расстоянии и приверженцем всеобъемлющей теории эфира является *ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР*. Уже с половины 40-х годов XVIII столетия он выступает в своих оптических сочинениях против *теории истечения*, а в работах о строении материи против *actio in distans*. И те, и другие явления он пытается объяснить эфиром, наполняющим всю вселенную. Позднее он применил свою гипотезу эфира к выводу законов электричества и магнетизма и развил ее в общую теорию эфира. Воззрения Эйлера изложены им в его «*Lettres a une princesse d'Allemagne sur quelques sujets de physique et de philosophie*» (Петербург, 1767—1772, 3 ч.), представляющих очень любопытное популярное сочинение по физике, которое и теперь читается с интересом. Письма эти были датированы 1760 и 1761 гг., они появились в нескольких изданиях и были переведены на немецкий

язык *Крисом* (Лейпциг, 1792—1794) снабдившим их многочисленными примечаниями, направленными преимущественно против отступления Эйлера от Ньютона. *Мы считаем полезным изложить более подробно теорию Эйлера, так как, независимо от ее достоинств, нам представляется крайне интересным ознакомить читателя с воззрениями гениального человека, стоявшими в резком противоречии с общепринятыми взглядами тогдашних физиков.*

Прежде всего, *Эйлер восстает против теории истечения света.* «Уже на первый взгляд это воззрение (т. е. теория истечения) должно представляться и смелым и странным, потому что, если солнце испускает непрерывно и во все стороны потоки светового вещества, и притом с такой громадной скоростью, то следовало бы ожидать, что оно должно скоро истощиться, или, по крайней мере, претерпеть заметные изменения в течение стольких столетий; наблюдения же показывают как раз обратное». «И напрасно стараются придать световому веществу наибольшую мыслимую тонкость; от этого ничего не выигрывается: система все-таки остается непостижимой. Нельзя сказать и того, что лучи истекают не из всех мест и не во все стороны; потому что, где бы ни поместиться, отовсюду видно все солнце. «К этому присоединяется еще другое, худшее обстоятельство, не менее важное по существу дела, заключающееся в том, что не одно солнце, но и все прочие звезды распространяют световые лучи, и последние по необходимости должны встречаться друг с другом. С какой силой должны были бы они сталкиваться? и настолько должно было бы изменяться их направление?». «Далее, если рассмотреть прозрачные тела, через которые солнечные лучи проходят без помехи, последователи этой системы вынуждены принять, что *поры таких тел идут по прямым линиям, и именно от любой точки поверхности во все стороны;* ведь нельзя себе представить линии, по которой не шел бы световой луч и не шел бы с непостижимой скоростью, не наталкиваясь на препятствия. До какой же степени такие тела при их видимой плотности должны бы были быть пронизаны отверстиями!» «Думаю, что эти трудности, взятые вместе, убедят Ваше высочество, что теория истечения не имеет под собой действительной почвы в природе; вместе с тем, Ваше высочество удивится, как могла подобная система быть придумана столь великим человеком и быть признана столькими просвещенными философами. Впрочем, уже Цицерон заметил, что нет такой странности, которую не взяли бы утверждать философы. Лично я слишком мало философ, чтобы присоединиться к этому мнению». Ньютон отвергал мысль, что вселенная заполнена эфиром, так как при этих условиях планеты, по его мнению, не могли бы двигаться столь беспрепятственно, как они двигаются на самом деле; но «Ваше высочество легко поймет, что пространство, в котором движутся эти тела, вместо того чтобы оставаться пустым, будет наполнено световыми лучами, которые, исходя не только из солнца, но из других светил, распространяются в нем непрерывно, со всех сторон и во все стороны и с величайшей скоростью. Следовательно, небесные тела будут двигаться уже не в пустоте, и будут встречать повсеместно вещество световых лучей, которое, находясь в движении

310 ЭЙЛЁРОВСКАЯ ТЕОРИЯ ЭФИРА

с ужасающей скоростью, необходимо должно затруднять течение светил в большей степени, чем если бы оно было в полном покое. Поэтому *если Ньютон опасался, как бы движение планет не было нарушено присутствием столь тонкой материи, как та, которую принимал Декарт, то нужно признать, что сам он прибег к очень странному средству, противоречащему его собственным намерениям, так как при нем движение планет должно нарушаться еще значительно сильнее*».

*Эфир есть вещество, подобное воздуху, «но значительно более тонкое и упругое, чем обыкновенный воздух. Так как мы уже видели, что именно этим свойством воздух обязан своей способностью воспринимать сотрясения и колебания звучащих тел и передавать их во все стороны, как мы это видим на распространении звука, то естественно думать, что и эфир при подобных же условиях будет подобным же образом воспринимать колебания и распространять их на несравненно большие расстояния». Действие этих колебаний есть свет. При этом «солнце ничего не теряет из своего вещества, хотя и освещает своими лучами весь мир. Его свет производится определенным движением или сильным сотрясением собственных частичек, которое, будучи передано соседнему эфиру, распространяется во все стороны на громадные расстояния, совершенно так же, как колокол при ударе передает собственные сотрясения воздуху». Мы знаем, что «если бы плотность воздуха уменьшилась, скорость звука увеличилась бы, точно так же, если бы упругость воздуха стала больше, то скорость звука возросла бы». «Представим себе теперь, что плотность воздуха уменьшилась бы настолько, что она стала равной плотности эфира, а упругость, наоборот, повышаясь, достигла бы упругости эфира, тогда, конечно, никто бы не удивился, если бы скорость звука возросла в несколько тысяч раз против действительности». «Таким образом необычайная скорость света перестает быть парадоксом, а наоборот, согласуется с нашими основными положениями, а сходство света со звуком идет так далеко, что мы можем с уверенностью утверждать, что *если бы воздух был столь же тонок и упруг, как эфир, то скорость звука была бы совершенно та же, что и скорость световых лучей*». Темное тело освещается падающими на него лучами не оттого, что оно отбрасывает световое вещество, а вследствие того, что частицы на его поверхности приводятся волнами эфира в колебание, а последние в свою очередь сообщаются соседнему эфиру, все равно, как натянутые струны приводятся в колебания набегающими звуковыми волнами и начинают звучать сами. Эти положения приводят Эйлера, прежде всего, к объяснению цветов при помощи теории колебания — к объяснению, которого до того еще совершенно не существовало. «Наше незнание истинной природы цветов издавна вызывало много споров между философами. Каждый старался отличиться своим особым мнением по этому предмету». «*Всякий простой цвет* (в отличие от смешанного) *происходит от определенного числа колебаний, совершающихся в известное время*; так, определенное число колебаний в секунду дает красный цвет, другое — желтый, третье — зеленый, опять иное — голубой, иное — фиолетовый; все эти цвета простые, какими мы видим их в радуге. Следует представлять себе, что малейшие частицы*

ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ. О ПРИЧИНЕ ТЯЖЕСТИ 311

на поверхности тела находятся, подобно струнам музыкального инструмента, в известном напряжении, зависящем от их массы и упругости; поэтому, когда их надлежащим образом касаются, они приходят в колебательное движение, более или менее частое, в зависимости от напряжения. *Если, значит, частицы тела имеют такое напряжение, что при сотрясении они дают такое число колебаний в секунду, которое соответствует, например, красному цвету, то такое тело я называю красным*. С таким же основанием можно называть красными и самые лучи, имеющие то же число колебаний; другими словами, если такие лучи падают на нерв глаза, то человек получает ощущение красного цвета. *Правда, мы еще не умеем определять число колебаний каждого цвета в отдельности и не знаем даже, каким цветам соответствует большее или меньшее число колебаний, какие цвета соответствуют более низким или высоким тонам*. Но достаточно знать и то, что всякий цвет имеет свое определенное число колебаний». «Чтобы осветить тело определенным цветом, необходимы лучи именно этого цвета, так как всякие другие лучи неспособны принести в движение частицы тела». «Лучи солнца, восковой или простой свечи освещают все тела одинаковым образом, из чего заключают, что солнечные лучи заключают в себе все цвета, хотя с виду они кажутся желтоватыми». *«Отсюда же заключают, что белый свет вовсе не простой, а состоит из смешения всех простых цветов»*.

К вопросу о *причине тяжести* Эйлер подходит уже после того, как вывел и определенно подтвердил все законы притяжения Ньютона. «До сих пор я старался сообщить Вашему высочеству общее понятие о тех силах, от которых зависят самые крупные явления в мире, и о силах, которые управляют движениями небесных сил». «Теперь же естественно возникает вопрос, какова же причина этого всеобщего притяжения, или отчего тела взаимно притягиваются?» «Я не стану утомлять внимания Вашего высочества перечислением всех придуманных на этот счет гипотез и ограничусь общим замечанием, что вообще мнения физиков и философов по этому вопросу распадаются на две главных категории». Одни утверждают, что притяжение составляет существенное внутреннее свойство материи, а другие, — что оно осуществляется через «посредство невидимой тонкой материи. Первого мнения придерживаются преимущественно английские физики, опирающиеся при этом на авторитет Ньютона. *«Но я уже много раз напоминал, что такое мнение приписывается ему (Ньютону) неправильно»*. Второе же мнение, согласно которому тяжесть есть действие тонкой материи, особенно отстаивали, как сказано, Декарт и Гюйгенс. И действительно, естественнее думать, что два значительно удаленных друг от друга тела сближаются при посредстве какого-нибудь вещества, чем предполагать, что они притягиваются внутренними силами без посредства промежуточной среды. По крайней мере, только первое мнение согласуется с прочими нашими опытными данными».

«Представим себе на минуту, что творец, прежде чем создать вселенную, сотворил два тела на большом расстоянии друг от друга и что, кроме этих тел, ничего другого не было. Возможно ли, чтобы они сблизились между собой? *Каким образом могло бы существование*

312 ЭФИР КАК ПРИЧИНА

*одного тела стать заметным для другого при их огромном удалении? Каким образом могло бы одно тело получить склонность приблизиться к другому?». «Поэтому мнение ученых, которые объясняют тяжесть действием тонкого вещества, окружающего все тела, представляется более правильным. Но это и все, что можно утверждать. Выдавать эту гипотезу за истину нельзя; на ее пути еще много трудностей». Здесь Эйлер держится еще нейтрально; но в другом месте своих писем он высказывается уже более определенно: «Тем не менее, мысль, что притягательная сила есть существенное свойство материи, представляется мне связанной с такими трудностями, что лично я, по крайней мере, не могу согласиться с ней. Много вероятнее кажется мне другое мнение, согласно которому притяжение есть действие тонкой материи, заполняющей все небесное пространство. Правда, вид и способ движения этой материи, равно как способ ее действия на тела, еще скрыты от нас; но ведь есть еще много других важных предметов, относительно которых мы вынуждены сознаться в не меньшем незнании». В сочинении «De magnet» и еще подробнее в трактате «Anleitung zur Naturlehre», найденном в Петербурге лишь в 1844 г., он пытается вывести притяжение двух тел в небесном пространстве непосредственно из давления и движения эфира, наполняющего всю вселенную; но и здесь он не доходит до окончательной цели и останавливается на недоказанном положении, что *всякое небесное тело должно в своей непосредственной близости изменять упругость эфира.**

С большей уверенностью и определенностью прилагает Эйлер свою теорию к объяснению электрических и магнитных явлений. «Большинство физиков сознаются в неведении, как только им приходится объяснять эти явления. Крайнее разнообразие явлений электричества, увеличивающееся ежедневно новыми открытиями, по-видимому, настолько их смущает, что они теряют всякую надежду доискаться когда-либо до их истинной причины». «Едва ли подлежит сомнению, что главный источник электрических явлений нужно искать в тонкой жидкой материи; но придумывать ее специально для этой цели нам (подобно другим физикам) не приходится. Эфир — эта тонкая материя, действительное существование которой я уже ранее доказал Вашему высочеству, — совершенно достаточен для того, чтобы естественнейшим образом объяснить самые поразительные из электрических явлений». «Так как эфир есть вещество, схожее с воздухом, но несравненно более тонкое и упругое, то он может находиться в покое лишь при условии, если его упругость повсюду одинакова. Едва он становится более упругим в одном месте, чем в другом, как тотчас же он начинает расширяться и сжимать соседние части, пока в обоих местах не восстановится одинаковая степень упругости». «Поэтому, если эфир не находится в равновесии, то с ним происходит то же, что происходит с воздухом, когда его равновесие нарушается; от мест большой упругости он распространяется к местам меньшей упругости, но распространяется со значительно большей скоростью, чем воздух, так как его тонкость и упругость во много раз выше». Эфир распространен повсюду, не исключая и самых малых пор в телах, а последние бывают двух родов, большие и малые. *Большие поры, по которым эфир может свободно циркулиро-*

вать, называются открытыми порами; те же, которые пропускают эфир лишь с трудом и задерживают его, называются замкнутыми порами». «Большинство тел имеют поры средней величины, и мы будем их считать более или менее замкнутыми, более или менее открытыми». Если бы поры во всех телах были совершенно замкнутые, то изменить упругость заключенного в них эфира было бы невозможно; «то же самое было бы и в том случае, если бы поры всех тел были совершенно открытые». Но так как поры тел не являются ни вполне замкнутыми, ни вполне открытыми, то нарушить равновесие заключенного в них эфира возможно; и когда это случается, то за этим непременно следует восстановление равновесия, но последнее происходит не мгновенно, а в известной постепенности. «В воздухе, которым мы дышим, поры почти совсем закрытые, поэтому эфиру столь же трудно проникнуть в воздух, как и выйти наружу тому эфиру, который туда проник. Поэтому, когда эфир воздуха не находится в равновесии с эфиром других тел, то восстановление равновесия происходит не только не мгновенно, но с известным трудом. Это, однако, касается лишь сухого воздуха, потому что природа влажности совсем иная». «Все зависит (в электричестве) от неравной упругости эфира в порах тел». «Когда эфир переходит из тела, где он более сжат, в другое, то находящийся между телами воздух сильно препятствует такому переходу, так как его поры почти замкнуты. Но, в конце концов, эфир, при его крайней тонкости, все-таки проникает через воздух, если только напор его не очень слаб и расстояние между телами не очень велико. Так как, однако, переход связан с известным усилием или напряжением, то происходит то же, что мы наблюдаем с воздухом, когда он с силою продавливается через малое отверстие,— слышится шипение». «Подобно тому, как сотрясение воздуха производит звук, соответствующее *сотрясение эфира дает свет*; поэтому всякий раз, как эфир переходит из одного тела в другое, при его прохождении через воздух должен появляться свет то в виде искры, то в «виде луча, смотря по тому, переходит ли эфира мало или много». «Тело может наэлектризоваться двояко, в зависимости от того, обладает ли заключенный в его порах эфир большею или меньшею упругостью по сравнению с окружающим эфиром. Отсюда возникают два вида электричества: тот, при котором эфир более упруг или сильнее сжат, называется *положительным электричеством*; другое, где эфир менее упруг или более редок, — *отрицательным электричеством*». «Самое и легкое и известное средство вызвать электричество в телах это — трение. В янтаре и сургуче поры довольно замкнутые, а в шерсти они довольно открытые. При трении поры обоих тел сжимаются, и заключенный в них эфир получает большую упругость. Смотря по тому, сжимаются ли поры шерсти легче или труднее, часть эфира переходит из нее в янтарь, или, наоборот, из янтара в шерсть. В первом случае янтарь делается положительным, во втором отрицательным, и, так как его поры почти замкнутые, состояние это удерживается в нем некоторое время; наоборот, шерсть благодаря ее открытым порам возвращается тотчас же в естественное состояние». Если взять наэлектризованную отрицательно палочку сургуча, то ослабленная упру-

314 МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

гость ее эфира не может выровняться с эфиром воздуха, так как поры в последнем замкнутые; но если к палочке приблизить легкое тело с открытыми порами, то часть эфира из последнего проникает через воздух к сургучу; благодаря этому давление воздуха между легким телом и сургучом понижается, и легкое тело давлением воздуха с противоположной стороны приближается к сургучу. Хотя поры в воздухе замкнутые, но вблизи наэлектризованных тел воздух все-таки изменяется, теряя или воспринимая эфир; эта часть воздуха составляет *электрическую атмосферу наэлектризованного тела*. Таким образом электрические явления происходят оттого, что эфир в одном теле или сжимается или разряжается более чем в другом. «Переходу сжатого эфира из одного тела в другое воздух с его замкнутыми порами оказывает сильное сопротивление; при этом он приходит в сотрясение или колебательное движение, производящее, как мы видели выше, свет. Чем сильнее такое движение, тем ярче свет; он может даже усиливаться до того, что может зажечь или сжечь горючие тела. *В то время как эфир со столь большой силой проникает через воздух, мельчайшие частицы последнего тоже приходят в колебательное движение, которое, как известно, производит звук*». «Так как, далее, тело человека и животных, в его малейших порах, наполнено эфиром — особенно деятельность нервов зависит, по-видимому, от заключенного в них эфира, — то понятно, что ни человек, ни животное не могут быть нечувствительны к электричеству. Как только заключенный в них эфир приходит в сильное движение, действие его должно резко обнаружиться и может оказаться, смотря по обстоятельствам, целительным или вредным». Все, что изменяет величину пор тела и вместе с тем изменяет упругость его эфира, может стать *источником электричества*. Поэтому неудивительно, что некоторые тела, как турмалин, обнаруживают электричество при простом нагревании; или, что *летом в сильную жару восходящие в холодные слои облака наэлектризовываются столь же сильно, что должны разразиться грозой*.

Таким образом, подобно свету и тяготению, Эйлер объясняет эфиром и все электрические явления; для одних только магнитных явлений эта тонкая жидкость оказывается недостаточной. «Положение, в котором располагаются вокруг магнита железные опилки, указывает, несомненно, на присутствие какой-то тонкой невидимой материи, которая, протекая по железным частицам, ставит их в известное положение. Столь же ясно, что эта же самая материя не только проходит через магнит от полюса к полюсу, но, выходя через один полюс наружу, возвращается через другой снова в магнит; она, следовательно, находится в постоянном движении, без сомнения, очень быстром и образующем вокруг магнита род вихря. *Сущность магнита заключается, таким образом, в непрерывном вихре, и этим он отличается от всех прочих тел*». «Его тонкая материя должна пронизывать все тела, за исключением железа, так же легко, как она пронизывает воздух и даже чистый эфир, потому что магнитные опыты одинаково легко удаются и в пустоте, под колоколом воздушного насоса. Она, следовательно, отлична от эфира и должна быть даже значительно тоньше его. Она окружает всю землю, образуя вокруг нее общий

ЗНАЧЕНИЕ ЭЙЛЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ ЭФИРА 315

вихрь, и проникает в нее так же легко, как в прочие тела, за исключением железа и магнита; поэтому последние можно было бы назвать магнитными телами в отличие от прочих». *«Итак, я представляю себе магнит и железо имеющими столь малые поры, что в них не может проникнуть даже эфир и входит лишь одна магнитная жидкость; входя в поры, последняя отделяется от эфира, так сказать, отфильтровывается от него.* По этой причине магнитная жидкость в чистом виде находится только в порах магнита, а во всех прочих местах она распространена по эфиру и смешана с ним». «Следовательно, в магните, кроме пор, наполненных, как в прочих телах, эфиром, есть еще несравненно более мелкие поры, в которые проникает только одна магнитная материя; последние, сообщаясь друг с другом, образуют тонкие трубки или каналы, по которым магнитная материя течет, но всегда в одном направлении, не имея возможности двигаться в противоположном».

Таким образом в объяснении магнитных явлений Эйлер почти полностью вернулся к картезианским воззрениям и с точки зрения последних объясняет все известные в его время явления магнетизма.

В эйлеровской теории эфира много заманчивого как раз для современного физика. Несмотря на явные пробелы и даже явно невероятные моменты в объяснении электрических явлений, несмотря на неудачное выделение из них магнетизма, несмотря на пробелы в объяснении эфиром тяготения и прочие недостатки, эта теория представляет высокий интерес в том отношении, что *она сводит на эфир как на общую причину механическую силу, свет, теплоту и электричество.* Закон превращения сил, экспериментально установленный новейшей физикой, но все еще не получивший общего истолкования, во всяком случае указывает на существование общего корня всех сил. Поэтому Эйлер заслуживает нашей благодарности и высочайшего нашего изумления за то, что он уже более столетия назад не только указал на такую общую причину, но отчасти и вывел из нее явления различных категорий. Если бы даже его выводы были еще менее правдоподобны, чем они были в действительности, то за ними все-таки осталась бы та заслуга, что при всей разрозненности физических исследований они указали на единство всех сил природы.

К сожалению, современники Эйлера не сумели оценить этой заслуги; созидающие факторы тогдашней физики, экспериментальное искусство и математика, были целиком заняты констатированием явлений и установлением численных соотношений; умозрения о сущности явлений, легко способные привести на ложные пути, считались скорее вредными, чем полезными, скорее затемняющими, чем уясняющими. В результате даже авторитет Эйлера не смог побудить современников глубже вникнуть в общие причины явлений и даже наилучше разработанная часть теории, именно, волновая теория света, несколько не могла поколебать господствовавшей тогда теории истечения. Очень характерно воззрения своего времени выражает в своей «Истории оптики» Пристлей. «Несмотря на решительность доводов против мнения, будто свет заключается в колебаниях жидкой среды, особенно с тех пор, как Ньютон в своих «Началах», по-видимому, доказал не-

316 ДИНАМИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

возможность подобной гипотезы, ее, однако, до сих пор придерживаются некоторые натуралисты, преимущественно некоторые из знаменитых иностранцев; да и между англичанами были такие, которых лишь с большим трудом удалось убедить отказаться от нее. Никто, однако, не оспаривал ньютоновскую теорию с таким усердием и энергией, как знаменитый математик г. Эйлер, вызвавший снова к жизни и защищавший гипотезу Гюйгенса, согласно которой свет заключается в колебаниях, распространяющихся от светящихся тел в тонкой эфирной среде. Не решаясь задерживать внимания читателя чистыми гипотезами, я ограничусь кратким изложением возражений г. Эйлера против учения Ньютона».

Динамика при исследовании движения на первых порах не принимала во внимание формы тел и изучала исключительно движения неделимых точек; но по мере завершения этих исследований *в круг внимания стали включать и вопрос об общем движении целых систем точек или тел*. Начали с исследования движения *неизменных систем или абсолютно твердых тел*, но уже и здесь встретились со значительно большими трудностями, чем при прежних механических задачах, потому что анализ должен был обнять не только *прямолинейно поступательное*, но и *вращательное* движение, равно как и различные сочетания этих обоих видов движения. Когда тело под влиянием толчка продолжает сообщенное ему движение, оно, как общее правило, не только перемещается в пространстве поступательно, но обыкновенно еще и *вращается при этом около постоянных или переменных осей*. Разработкой вопроса о физическом маятнике Гюйгенс положил начало исследований в этой области, и хотя дело шло только об одном вращении около постоянной оси без перемещения, задача даже и в этом виде оказалась, как мы видели, для того времени очень трудной. Тем не менее, отказаться от подобных задач механика уже не могла, *их ставила, прежде всего, астрономия*. Пока планеты считались совершенными шарами, их еще можно было в небесной механике рассматривать как точки, в которых собрана вся масса планет; но с тех пор как были открыты неправильности их формы, например сжатие, возник *вопрос о влиянии прежде всего этого сжатия на вращение планет; можно было надеяться этим путем объяснить некоторые наблюдаемые изменения движения планет, как, например, явления прецессии* и т. п. Уже в 1737 г. Даниил Бернулли и Эйлер показали, что под влиянием косоугольного удара движение тела следует двум законам: 1) *центр тяжести тела движется так, как если бы удар был прямо направлен к центру*, 2) *помимо этого движения тело вращается около своего центра тяжести так, как если бы последний был неподвижен*. После этого встал вопрос о дальнейшей разработке теории подобных вращений около точки. Вращение около центра тяжести может быть вращением около постоянной оси, проходящей через центр, но оно может быть и более сложным, — вращением, при котором положение мгновенных осей вращения непрерывно изменяется. Но, во всяком случае, *вращение подобно поступательному движению, может быть спроектировано на три оси*, или, что то же, оно может быть представлено одновременным движением около трех взаимно перпендикулярных осей, проходящих

ГЛАВНЫЕ ОСИ ТЕЛА. СЕГНЕР 317

через центр тяжести. Для всякого тела существует, в зависимости от его формы, одно определенное положение осей, при котором такое изображение движения оказывается наиболее простым; эти оси имеют то свойство, что тело вращается вокруг них свободно, не проявляя наклонности изменять оси вращения; поэтому эти оси называются *свободными или главными осями тела*. Однако три главных оси тела ведут себя не вполне тождественно. Если тело вращается около оси, не совпадающей с одной из главных осей, но лежащей к ней бесконечно близко, то ось вращения либо постоянно удаляется от этой главной оси, либо остается к ней бесконечно близкой; в первом случае главные оси называются *неустойчивыми*, во втором — *устойчивыми осями вращения*. Если на тело, вращающееся около устойчивой оси, действуют внешние силы, то хотя они и непрерывно изменяют положение главной оси, но все это изменение — в виду того, что тело стремится сохранить свою ось вращения — сводится к вращению последней по конической поверхности вокруг устойчивой оси вращения. Примером могут служить движения наклонно поставленного волчка и вращение планет около устойчивой главной оси, наклонной к плоскости их орбиты. Эту *теорию главных осей вращения* в общем случае, равно как *представление движений вокруг произвольных осей* в частных случаях Эйлер капитально разработал «в своем главном сочинении «Theoria motus corporum solidarum seu rigidorum» (Росток, 1765; новое изд. 1790 г.). Исходя из специально астрономических точек зрения, д'Аламбер («Opuscles mathématiques». 1761—1768) и Лагранж («Recherche sur la libration de la lune», сочинение, премированное Парижской академией в 1764 г.) пришли к подобным же результатам. Иоганн Андреас Зегнер (1704—1777, сначала врач на родине, в Венгрии, потом в 1733 г. профессор философии в Йене, с 1735 по 1755 г. профессор математики и физики в Гёттингене и, наконец, вплоть до своей смерти — профессор в Галле) уже ранее того открыл *три главных оси вращения* и изложил первые соображения по этому вопросу в 1755 г. в сочинении «Specimen Theoriae turbinum».

Вообще Зегнер был физик, не бесплодно поработавший в различных отраслях нашей науки и давший ряд плодотворных идей. В сочинении «De raritate luminis», (Геттинген, 1740) он пытался очень остроумно защитить теорию истечения против одного возражения, которое позднее Эйлер, тем не менее, снова привел против нее. Указывали, что трудно понять, каким образом могут, не мешая друг другу, потоки световых лучей непрерывно проникать через узкие отверстия в темную комнату. Зегнер указывает, что световому лучу нет надобности быть непрерывным, подобно струе воды. Стоит только принять, что глаз удерживает впечатление в течение шести терций времени, тогда световые атомы в луче могли бы следовать друг за другом с промежутками времени в 6 терций или с пространственными промежутками почти в пять земных радиусов; тогда масса лучей получила бы достаточно времени для прохождения через узкие отверстия. Но, конечно, при этих условиях возможность взаимной помехи стала бы только реже, но она не была бы устранена полностью. Более важное значение имеют две работы того же автора 1750 г.: «Machinae cujusdam

318 ТУРБИНА. СМЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНО НАГРЕТЫХ МАСС

hydraulicae theoria» и «Computatio formae atque virium machinae hydraulicae nuper descriptae», в которых Зегнер впервые описывает названное его именем *водяное колесо* или *турбину* и излагает ее теорию. Он предполагал применять свое колесо к мельнице и дал соответствующие чертежи и описание; но оно стало больше известно позднее по конструкции англичанина Баркера под названием «мельницы без колеса и шестерни».

Хотя *постоянство точек кипения и замерзания жидкостей*, равно как важность этих явлений для устройства термометров были замечены давно, но теоретическая сторона этих явлений оставалась почти не затронутой. Лишь в промежуток времени 1755—1760 г. ДЕЛЮК и д-р БЛЭК подробно исследовали эти явления и даже произвели некоторые измерения расхода тепла при плавлении и кипении.

Жан Андре Делюк родился 8 февраля 1727 г. в Женеве, где его отец был часовщиком, но также был известен как духовный и политический писатель. Жан Андре сначала тоже принял активное участие в политической борьбе родного города и в 1770 г. стал членом верховного совета. Но вскоре затем он вместе с братом покинул Женеву и занялся физикой и геологией. После многочисленных путешествий он получил место чтеца при английской королеве Каролине, а с 1798 г. стал профессором физики в Гёттингене. Однако он не остался здесь жить постоянно, а жил попеременно в Лондоне, Берлине, Ганновере и Брауншвейге. В 1808 г. он вернулся окончательно в Англию и умер 17 ноября 1817 г. в Виндзоре.

Джозеф Блэк родился в 1728 г. около Бордо от шотландских родителей, которые послали его для образования сначала в Белфаст, потом в Глазго и, наконец, в Эдинбург. Уже в его докторской диссертации «De acido a cibus orto et de magnesia» (Эдинбург, 1754) и еще более в последовавшем за ним вскоре сочинении «Experiments on magnesia alba, quicklime and other alkaline substances» (Эдинбург, 1775) заключается важное химическое открытие, что едкие щелочи и щелочные земли смягчаются от соединения с особым видом воздуха, который Блэк назвал *fixed air*. В 1756 г. он стал профессором химии в Глазго, а с 1766 г. — в Эдинбурге. Здесь он и умер 26 ноября 1799 г.

В течение зимы 1754—1755 г. Делюк замораживал воду, оставляя в ней термометр. Когда сосуды с замерзшей водой ставились на огонь, температура их повышалась лишь до тех пор, пока лед не начинал таять; затем вся поступающая теплота поглощалась, и термометр оставался на 0°, пока не исчезал весь лед. Еще более точные опыты произвел около того же времени Блэк, изложив их в 1757 г. на своих лекциях по химии в Глазго, а затем в Эдинбурге. Профессор Рихман в Петербурге указал («Nov. Comment. Petrop.», т. 1), что *при смешении различно нагретых масс одной и той же жидкости температуры их выравниваются соответственно их высоте и соответственно количествам жидкости*; другими словами, что температура смеси получается по формуле:

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$$

На этом основании равные количества одного и того же вещества должны при смешении давать среднюю температуру; Блэк же нашел, что после погружения

СКРЫТАЯ ТЕПЛОТА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА 319

в воду при 172° Фаренгейта куска льда равного ей веса при 32° Фаренгейта получается смесь, температура которой не 102°, а 32°, т. е. температура льда; но зато весь лед превращается в воду. В своих «Lectures on the elements of chemistry» (изданных после его смерти Джоном Робайсоном в 1803 г. в двух частях) он говорит: «Тающий лед принимает в себя много тепла, но все действие последнего ограничивается превращением льда в воду, которая несколько не согревается против бывшей температуры льда. Следовательно, некоторое количество тепла или теплорода, переходящего в тающий лед, идет на превращение льда в жидкость, без какого-либо заметного повышения температуры последней. При этом тепло как бы поглощается водою или скрывается в ней таким образом, что термометр не обнаруживает его присутствия». Указывая далее на то, что как при плавлении льда, так и при кипении воды некоторое количество тепла потребляется без повышения температуры воды, он применяет здесь выражение «скрытая теплота».

Делюк, как и Блэк, не опубликовали своих наблюдений тотчас же после того, как они были сделаны; Делюк сообщил о них в своих «Recherches sur les modifications de l'atmosphère» (Париж, 1772), а опыты Блэка стали известны лишь в 1779 г., благодаря Крауфорду. Одновременно Вильке с еще большим успехом занимался вопросом о распределении тепла между различными телами и опубликовал свои результаты в 1772 г. в трудах Королевского шведского научного общества¹. Смешивая теплую и ледяную воду, он нашел, что тепло распределяется по формуле Рихманна; но когда он плавил в теплой воде снег, это правило оказалось неприменимым. При равных количествах снега и воды, в тот момент, когда весь снег превращался в воду, всегда исчезали 72° тепла (по Цельсию). При неравных количествах снега и воды потеря тепла была соответственная, так что для температуры

$$T = \frac{mt - 72m'}{m + m'}$$

смеси (T) он мог дать следующую общую формулу, где m обозначает количество воды, t — ее температуру, а m' — количество снега, имеющего температуру 0°. Эти наблюдения побудили Вильке исследовать, не потребляют ли различные тела при равном нагревании различных количеств теплоты. Нагрев с этой целью испытуемое тело, он погружал его в ледяную воду и определял повышение ее температуры. Вычислив затем по правилу Рихманна то количество воды, согретое до температуры испытуемого тела, которое потребовалось бы для получения наблюденного эффекта, он находил отношение между удельной теплотой воды и удельной теплотой испытуемого вещества или же прямо последнюю величину, так как удельную теплоту воды он принял за единицу.

После этого исследования удельной теплоты тел получили широкое распространение, но при этом большею частью пользовались только

¹ Явления удельной и скрытой теплоты обратили на себя общее внимание лишь после трудов Вильке. Робайсон рассказывает, однако, что около того времени Вильке узнал об опытах Блэка от одного шведа, присутствовавшего при них. Хотя факт этот сам по себе и не возможен, но возможно и то, что Робайсон из патриотизма выдал предположение за факт. Сам Вильке дает понять, что на эти мысли его навел Клингенштерна.

320 ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

что описанным *способом смешения*. Этот же способ применял и *Блэк*; но особенно много тщательных опытов такого рода изложил *Крауфорд* (1745—1795, врач в Лондоне) в сочинении «*Experiences and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies*» (Лондон, 1779).

Однако этот способ заключал в себе значительные источники ошибок вследствие потери тепла на нагревание сосуда и вследствие излучения; поэтому с 1777 г. *Лавуазье* и *Лаплас* стали употреблять общеизвестный *ледяной калориметр*, при котором удельная теплота тел определяется по количеству растаявшего льда. Но и здесь обнаружились трудности; особенно трудно было точно определить количество воды, образовавшейся из растаявшего льда. По этой причине Вильке даже отказался от мысли определить удельную теплоту по этому способу. Однако в последующее время, как физики, так и химики много работали над изобретением новых калориметров или, по крайней мере, над усовершенствованием прежних.

Эти интересные новые наблюдения дали новую пищу и для старого спора о природе теплоты. *Теории вибраций*, сторонниками которой были *Бэкон* и *Декарт*, уже раньше противостояла теория *особого теплового вещества*. Эпоха после Ньютона была вообще неблагоприятна для всякого рода теорий колебаний, а тут появились еще новые открытия, сделавшие, по-видимому, необходимым принятие особого теплового вещества. *Вильке считает теплоту тонкой материей, частицы которой, взаимно отталкиваясь, большинством тел притягиваются в различной степени*. Всякое тело содержит в себе свойственное ему количество теплового вещества, изменяющееся, однако, в зависимости от состояния тела. Когда воздух расширяется, он получает способность заимствовать теплоту от окружающих тел, отсюда — охлаждение при расширении воздуха и, наоборот, нагревание окружающих тел при его сжатии. Решение этой старой загадки, не поддававшейся до того времени объяснению, Вильке с полным основанием считал новым сильным аргументом в пользу существования теплового вещества, однако, несмотря на то, что и теория флогистона тогдашних химиков со своей стороны говорила в пользу того же предположения, но все же очень медленно получало широкое признание.

Еще сильнее была борьба по поводу другого вопроса, касающегося теории тепла. С тех пор, как начали отличать водяные пары от воздуха, возник вопрос, *какая причина заставляет водяные пары подниматься в воздухе*. Мы уже видели, что даже такие ученые, как *Галлей*, *Цергам* и *Вольф*, держались странной теории пузырьков; ее же придерживался *Мушенбрек*, и она даже до настоящего времени имела отдельных сторонников. В 1743 г. этот вопрос был поставлен Бордоской академией на соискание премии, и в результате, странным образом, премии были присуждены за две работы, содержавшие совершенно противоположные взгляды на этот вопрос: в одной из них, принадлежавшей уже упомянутому выше *Христ. Готлибу Крацеништейну* (1723—1759, врач в Галле, профессор физики в Петербурге, а потом в Копенгагене), были взяты под защиту полые пузырьки и даже была определена толщина их стенок (в 1:50000 дюйма); в другой, принадлежавшей *Гамбергеру*, *поднятие водяных частиц объяснялось их*

прилипанием к воздуху. В позднейшем сочинении того же автора «Elementa physices» мысль эта превратилась в теорию растворения воды в воздухе. Шарль Леруа (1726—1779) присоединился к этой теории и горячо защищал ее в мемуарах Парижской академии 1751 г., указывая на аналогию смеси паров воды и воздуха с водным раствором соли. Ему же принадлежит наблюдение и выражение, что воздух может быть насыщен водяными парами и что насыщающее количество, как и в соляных растворах, зависит от температуры. Против этой теории растворения возражал швед Валериус Эрикссон (1709—1785 г., в 1732 г. адъюнкт при медицинском факультете в Лунде, потом в Стокгольме, в 1750 г. профессор химии в Упсале; с 1766 г. оставил преподавание), обративший внимание на то, что вода испаряется и в пустоте. Интересно, что последнее открытие не убило окончательно теории растворения; последняя имела приверженцев до 1800 г., и даже известный Соссюр боролся за нее долгое время. Впрочем, теперь спор шел не столько о форме видимых паров, тумана и облаков (для которой обе стороны допускали теорию пузырьков), сколько о происхождении невидимых паров, водяного газа. Делюк, лидер противной стороны, исходил в своем сочинении «Recherches sur les modifications de l'atmosphère» из воззрения Ньютона, объяснявшего испарение отталкивательной силою тепла. Он считал теплоту веществом несравненно более легким по весу, чем воздух, или даже вовсе невесомым, но способным соединяться с весомой материей, подобно всякому веществу. Благодаря этому восхождение водяных частиц объяснялось очень просто соединением их с тепловым веществом; и так как последнему приписывались отталкивательные силы, то тем же соединением объяснялось свободное испарение и образование паров при кипении. В последующей работе «Nouvelles idées sur la météorologie» (Париж, 1787) он несколько усложнил свою теорию с целью отражения некоторых нападок; тем не менее, он не смог довести спора до окончательного разрешения¹.

Исследования Делюка об изменениях атмосферы были важны для физики и во многих других отношениях. Заметив, что в узких трубках ртуть стоит ниже, чем в широких, он первый предложил употреблять сифонные барометры, в которых те части трубок, где ртуть поднимается и опускается, должны быть сделаны из трубок равного диаметра. Согласно прежним данным кипение ртути в барометрах способствовало их свечению; производя соответствующие опыты Делюк заметил, что барометры с прокипяченную ртутью дают более согласные показания, чем с непрокипяченной. Он нашел, что хотя кипячением совершенно освободить ртуть от воздуха и невозможно, но торичеллиева пустота все-таки содержит значительно меньше воздуха, влияющего

¹ Одно интересное явление испарения не укладывалось ни в одну из теорий. Лейденфрост изложил в сочинении «De aquae communis nonnullis qualitatibus Tractatus» (Дуйсбург, 1756) опыт, которому было присвоено его имя. По его наблюдению будто бы выходило, что количество испаряющейся воды обратно пропорционально количеству потребляемого тепла. После этого было произведено множество проверочных опытов в том же направлении, то, разумеется, безрезультатно (Gehler, Phys. Wörtertb., 2 Aufl. X, 486).

322 ФОРМУЛЫ ДЛЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТ

на высоту ртутного столба, и что тогда показания прибора и значительно меньшей степени поддаются влиянию теплоты. До него вовсе не существовало поправок барометрических показаний на температуру, так как при различном содержании воздуха в торичеллиевой пустоте температура оказывала неодинаковое влияние на различные приборы. Делюк впервые дал формулу для указанных поправок и даже составил таблицу для них. После этого важного усовершенствования Делюк усердно занялся вопросом о *применении барометра для измерения высот*. Уже Галлей дал для измерения высот формулу:

$$h = 900 \frac{\log \cdot 30 - \log \cdot a}{0,0144765}$$

в английских футах, которая приводится к более короткому выражению:

$$h = A \log \frac{B}{b},$$

где h обозначает высоту над уровнем моря, B — показание барометра на уровне моря, b — показание барометра в наблюдаемом месте и A — постоянную величину. Последняя, принятая Галлеем равной $900/0,01144765$,

была, как можно было ожидать, еще неверна; к этому присоединилось еще отсутствие поправок на теплоту; в результате действительные и вычисленные по формуле высоты разнились так значительно, что многие физики стали сомневаться вообще в правильности галлеевского закона. Даже *Даниил Бернулли* в своей гидродинамике отверг этот закон и высказался в том смысле, что вопрос этот слишком сложен, чтобы найти истинный закон связи между высотой места и давлением воздуха. Многие исследователи занимались более точным определением постоянных, и, прежде всего — определением высоты, которая соответствовала бы снижению барометра с 336 до 335 линий. *Цейцхер* (1709), *Цельсий* (1730) и *Шобер* (1743) пытались найти эту величину путем непосредственных измерений на отвесных скалах и в шахтах. *Буге* («Figure de la terre», 1749 г.) вывел из своих тригонометрических измерений в Перу формулу:

$$h = 10\,000 \left(1 - \frac{1}{30} \right) \log \frac{B}{b},$$

в туазах, которая приблизительно верна для температуры в 6° Реомюра. *Майер* И. Т. (1751) дал еще более простую формулу:

$$h = 10\,000 \log \frac{B}{b},$$

которая достаточно хороша для $13\frac{2}{3}$ Реомюра. *Делюк* сначала вычислял высоты по последней формуле, но, найдя при различных наблюдениях и расчетах сильно различающиеся значения для одной и той же высоты, он это расхождение приписал преимущественно тому обстоятельству, что наблюдения производились при различных температурах. Сопоставив очень внимательно различные показания, он нашел, что все барометрические определения высот, сделанные без учета влияния тем-

пературы, должны быть увеличены или уменьшены на $1/215^\circ$ на каждый градус Реомюра вверх или вниз от $16^{3/4}^\circ$. Таким образом, его формула получила следующий вид:

$$h = 10\,000 \log \frac{B}{b} \left(1 + \frac{t - 16^{3/4}}{215} \right),$$

в туазах. Делюк и сам хорошо понимал неполную точность своей формулы и необходимость ее дальнейшего исправления; но все-таки основа для дальнейшей разработки вопроса им была дана. Барометрическая поправка Делюка стояла в связи с его измерениями *коэффициента расширения воздуха*. Согласно этим измерениям, высота воздушного столба изменяется, начиная от $16^{3/4}^\circ$ Реомюра, на $1/125$ своей высоты для каждого градуса температуры. Ламберт определяет в своей пирометрии расширение воздуха в пределах от 0° до 100° Цельсия в $375/1000$, что довольно хорошо согласуется с результатами Делюка.

По вопросу о *причинах барометрических колебаний* в одном и том же месте мнения все еще продолжали сильно расходиться. В начале рассматриваемого периода многие физики придерживались еще того мнения, что когда барометр падает, то это означает, что где-нибудь в какой-либо части атмосферы идет дождь и потому воздух становится легче. Даниил Бернулли высказал в своей «Гидродинамике» мысль, что при повышении температуры в подземных полостях содержащийся в них воздух выталкивается в атмосферу и производит повышение барометра. Однако Клод Лека (1700—1768) первый высказал резонную мысль, что *теплый воздух легче холодного, поэтому южные ветры дают понижение, а северные, наоборот — повышение барометра*.

В заключение отметим, что в этот, столь плодотворный для теории теплоты период стали систематически заниматься и вопросом о лучистой теплоте. Этим наблюдениям положил начало шведский химик Карл Вильгельм Шееле, впервые употребивший и термин «лучистая теплота» в своем «Химическом трактате о воздухе и огне» (Упсала и Лейпциг, 1777). Опыты флорентийских академиков о *холодном лучеиспускании* почти не обратили на себя внимания. Можно еще указать на несколько наблюдений Мариотта (1682) и Ламберта о пропускании стеклом тепловых лучей. В указанном выше сочинении Шееле находятся уже следующие положения: *движение воздуха не изменяет ни силы, ни направления тепловых лучей; пропуская тепловые лучи, воздух сам не согревается; стеклянное зеркало, отражая световые лучи, не отражает тепловых, а полированная металлическая поверхность отражает и те и другие и не согревается сама, если только она не вычернена*.

С теоретическими открытиями в области тепловых явлений совпали крупные перевороты в техническом применении теплоты. Эти последние связаны с именем Уатта, заменившего прежнюю простую воздушно-паровую машину нынешнею *паровой машиною двойного действия*. Отмечают, что эти два явления были известным образом связаны друг с другом.

ДЖЕМС УАТТ родился 19 января 1736 г. в Гриноке, в Шотландии.

324 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

На 18-м году своей жизни он отправился в Лондон в учение к инструментальному мастеру, но по слабости здоровья вернулся скоро в Глазго, где стал заниматься изготовлением мелких физических инструментов. Здесь он познакомился с выдающимися физиками университета; из них на него, говорят, особенно сильно повлиял Блэк, занимавшийся в Глазго своими опытами над скрытой теплотой; Уатт прочел сочинение Дезагюлье и Белирода о паровых машинах; в 1761—1762 гг. он занимался применением папинова котла к измерению упругости водяных паров и составил 1764—1765 г. таблицу упругости паров. В 1764 г. ему дали в починку из физического кабинета университета модель паровой машины Ньюкомена, которая перестала действовать или, может быть, вообще не действовала. Модель была им исправлена и с этой поры Уатт почти исключительно отдался работе по усовершенствованию паровой машины. Благодаря собственному изучению *теплоты испарения* Уатт понял, что впрыскивание холодной воды в цилиндр с целью его охлаждения приводит к бесполезной трате большого количества паров. Поэтому он присоединил к паровому цилиндру особое пространство для охлаждения, конденсатор, в котором и производилось сгущение паров. Но и при этом все-таки терялось много тепла вследствие того, что поршень приводился в обратное движение холодным воздухом, а также вследствие применения воды для охлаждения пара над поршнем. *Это навело Уатта на мысль совершенно устранить атмосферный воздух и применить пар также и для обратного хода поршня. Чтобы обеспечить плотное прилегание последнего к стенкам цилиндра, он применил паклю с салом; он закрыл паровой цилиндр также и сверху и провел через особо устроенную коробку в верхней крышке стержень к поршню таким образом, чтобы при движениях стержня воздух не попадал в цилиндр.* Благодаря этому пар стал единственной двигательной силой в машине, и Уатт мог уже снять с коромысла противовес, служивший обычно для поднятия поршня, а коромысло тесно связать с поршнем и подъемным шестом, в результате чего поршень мог приводиться в движение паром как вверх, так и вниз. Но тогда возникла необходимость в целом ряде новых изобретений. Так, оказалось необходимым заменить цепь, связывающую конец коромысла с поршневым стержнем, каким-нибудь прочным суставом. В то же время связь эту нельзя было сделать неподвижной, так как конец качающегося коромысла описывает дуги, а стержень с поршнем должны перемещаться прямолинейно. Эта задача была блестяще разрешена придуманным Уаттом приспособлением, известным под названием *параллелограмма Уатта*. Для того же чтобы пар как единственный двигатель мог действовать на поршень и сверху и снизу, нужно было такое приспособление, которое сообщало бы паровой котел и конденсатор попеременно и в надлежащее время то с верхнюю часть цилиндра над поршнем, то с нижнюю под ним. С этой целью Уатт изобрел *автоматический регулятор машины*. Далее, ход машины потребовал введения махового колеса и приспособления для приведения его во вращательное движение. Наконец, из конденсатора необходимо было удалять образовавшуюся там теплую воду и накачивать в него холодную. И эти задачи разрешил Уатт так, что эти функции выполняла сама машина.

РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВОЙ МАШИНЫ 325

Перечисленные усовершенствования были осуществлены, конечно, не сразу. Сначала производству практических опытов мешала ограниченность средств Уатта, а затем банкротство д-ра Ребока, с которым он вступил в компанию в 1768 г. Вместе с ним Уатт устроил одну только первую свою машину в угольных копиях герцога Гамильтона и получил на нее патент в 1769 г. После банкротства Ребока наступил перерыв в деятельности Уатта до 1773 г., когда он нашел компаньона в лице *Матью Лультон*. довольно богатого человека с коммерческими способностями. С ним Уатт основал фабрику в окрестностях Бирмингема и получил в 1775 г. патент на 25 лет.

Атмосферные паровые машины производили только прямолинейное движение вверх и вниз, да и то неровно, толчками; поэтому они едва ли могли служить для каких-либо иных целей, кроме поднятия воды. *Только после того, как Уатт стал приводить поршень в движение вверх и вниз силой, действующей равномерно, то усиливаемой, то ослабляемой по произволу, после того, как он снабдил машину маховым колесом на валу, — появилась возможность удобно передавать движение с парового двигателя на другие машины.* Хотя вначале машины Уатта и употреблялись только для поднятия воды, но вскоре поняли возможность их применения для других целей, и они стали очень быстро распространяться, по крайней мере, в Англии и Франции, где паровую машину стали применять в качестве двигателя для других машин. Так, уже в 1788 г. Уатт и Бультон соорудили *паровую машину для чеканки монет*, а в 1791 г. в Лондоне сгорела паровая мельница, называвшаяся Альбионской. О Германии же еще *Поппе* в 1807 г. в своей «Истории технологии» говорит следующее: «В Германии мне не известно ни одного случая применения паровой машины для приведения в движение мельницы; да и в других механических производствах она применяется очень редко. Причина этому ясна. Паровая машина стоит дорого и постоянно требует много горючего материала».

Определение действующей силы паровой машины с помощью *манометра* и исчисление с помощью этих данных ее мощности не представляли трудностей. Наоборот, *оценка трудоспособности человека и животных была всегда делом очень трудным.* Со времени появления в свет сочинения *Борели* «De motu animalium» механика человеческих и животных движений и измерение действующих при этом сил постоянно занимали умы. *Делигар, Паран, Амонтон, Даниил Бернулли и Дезагюлье* пытались определить для частных случаев главным образом *границы трудоспособности животных и человека.* *Грэгг* употреблял в качестве динамометра коленчатый рычаг с передвижным грузом на длинном плече; *Леруа* употреблял с той же целью спиральную пружину, а *Эдм Ренье*¹ (1741—1825) уже в конце столетия устроил употребляемый до сих пор динамометр в форме эллиптической пружины. *О трудоспособности человека в течение продолжительного времени и о механике его движения выдающуюся работу написал Ламберт* в 1776 г.².

¹ Mémoire explicatif du dynamomètre et autres machines par Regnier, Париж, 1798.

² Sur les forces du corps humain («Berl. Mém.», 1776).

Ламберт разбирает различные виды механической деятельности человека при бегании, тяге, толкании и пр. отдельно для каждого процесса, стараясь выразить уравнениями взаимную зависимость между грузом, скоростью и высотой поднятия. При этом он подчеркивает необходимость точно различать вид движения, соответствующий данному действию; этим, главным образом, и объясняется, по его мнению, значительное расхождение результатов, полученных такими людьми, как *Даниил Бернулли* и *Дезаюлье*. Как образец тщательного изучения какого-нибудь движения, он приводит следующий остроумный пример. При быстром беге человек употребляет ноги лишь для того, чтобы отталкиваться в надлежащий момент от земли. Так как бег есть движение падения, то центр тяжести тела описывает параболы; бегущий должен соприкасаться с землею лишь в тот момент, когда центр тяжести находится на вершине параболы — не раньше, так как в противном случае человек устал бы бесполезно, не позже, так как иначе толчок был бы слишком силен, колена согнулись бы и центр тяжести опустился бы ниже, чем следует. Поэтому скорость бега и выносливость зависят не столько от силы, сколько от ловкости бегущего, тем более, что по мере ускорения бега действие тяжести все более уменьшается.

Кулон, о котором мы сейчас будем говорить подробнее, написал вскоре после Ламберта работу по тому же вопросу («Mém. de l'Insitut», т. II), выдвинув опять-таки новую точку зрения. Он утверждает в своем сочинении, что о трудоспособности человека нельзя судить только по работе, произведенной им за короткое время, — *следует также принимать в расчет и последующее утомление. Чтобы получить из данной рабочей силы максимально возможный полезный эффект, необходимо, чтобы частное от деления полученного эффекта на вызванное им утомление представляло собою тахітит.* *Даниил Бернулли* полагал, что величина работы и утомления пропорциональны друг другу; при этих условиях, конечно, вопрос об утомлении был бы излишним. Но *Кулон* утверждает, что для разных случаев применения рабочей силы отношение между произведенной работой и утомлением различно и что вся задача заключается в определении именно этого отношения в каждом частном случае. Такие определения он и произвел. *Даниил Бернулли* определил величину дневной работы человека средним числом в 274 701 килограммометр («Prix de l'Acad.», т. VIII), *Кулон* же находит, что дневная работа человека, если она заключается в поднятии веса собственного тела вверх по вертикали, равна 204 601 килограммометру; если у носильщика к весу собственного тела присоединяется еще груз в 68 килограммов, то дневная работа равна только 10 900 килограммометрам, а при передвижении только собственного тела по горизонтальной плоскости дневная работа составляет 3 500 000 килограммометров. Подобным же образом *Кулон* рассматривает далее отдельно работы: забивание свай, вращение ворота, передвижение тачки, копанье земли заступом и т. д.

В области *электричества от трения* как опытная, так и математическая физика уже в этом периоде довели учение до известной законченности. Экспериментальные физики усовершенствовали главным обра-

ВОЛЬТА. ЭЛЕКТРОФОР. ЛНХТЕНБЕРГОВСКИЕ ФИГУРЫ 327

зом *электрические приборы*; в этом отношении уже и теперь выдается *Вольта*, сделавший впоследствии так много для гальванизма. *Александр Вольта* родился в Комо 18 февраля 1745 г., рано стал заниматься электричеством и уже в 1769 г. написал сочинение «*De vi attractiva ignis electrici*», за которым последовали многие другие. В 1774 г. он стал преподавателем физики в гимназии в Комо, а в 1779 г. — профессором физики в Павии. Наполеон I назначил его сенатором Итальянского королевства и возвел в графское достоинство. В 1815 г. Вольта стал директором философского факультета в Падуе. Умер он 5 марта 1827 г. в своем родном городе Комо. Полное собрание его сочинений появилось в 1826 г. в пяти томах.

В 1762 г. *Вильке*, производя электрические опыты со стеклянной пластиной, снабженной съемными обкладками, сделал интересное открытие, долгое время не поддававшееся никакому объяснению. Когда он разряжал пластину с обкладками, заряженную наподобие лейденской банки, и затем снимал обе обкладки или даже только одну из них, то каждая оказывалась вновь наэлектризованной и притом со знаком, противоположным тому, какое она имела, будучи на стекле. Удалив с обкладок это электричество и вновь наложив их на стекло, он замечал, что обе они опять наэлектризовались. Этот процесс *Вильке* мог повторять в течение многих дней ни разу больше не заряжая заново пластин. *Беккариа* объяснил это явление в 1769 г. очень странной *теорией постоянного самовосстановления электричества*, согласно которой проводник и непроводник при соприкосновении их поверхностей выделяли из себя электричество, а при разъединении снова его забирали. *Вольта* возражал против такого объяснения и *попытался вывести эти явления из теории электрических сфер действия*. Вместе с тем ему пришла мысль воспользоваться подобными стеклянными пластинами с обкладками как постоянным источником электричества, и результатом этого явилось устройство им известного, удобного по своей форме, употребляемого и до сих пор прибора, который Вольта назвал *elektroforo perpetuo* (постоянный электрофор). В июне 1775 г. он сообщил об этом, прежде всего Пристлею, а потом и многим другим лицам. *Вильке*, хотя и дал первый толчок к открытию электрофора, хотя и позднее еще много поработал над объяснением сделанных им открытий, скромно заявил, что мысль о сохранении электричества не пришла ему в голову. Таким образом слава этого открытия осталась за одним Вольтой.

Электрофор оказался очень плодотворным прибором, так как он вскоре привел к новому открытию, не менее изумившему физиков. *Георг Христофор Лихтенберг* (1744—1799 г., профессор физики в Гёттингене) заметил случайно, что если направить электричество с острия на смоляную поверхность электрофора и посыпать ее потом смоляным порошком, то последний пристает к смоляной поверхности только местами, образуя известной формы фигуры. Далее, он заметил, что для положительного и отрицательного электричества фигуры имеют различный вид. Эти опыты в различных интересных видоизменениях он описал в трудах Гёттингенского научного общества за 1777 и 1778 гг. Большинство физиков ожидало очень многого от *лихтенбер-*

328 ЭЛЕКТРОМЕТРЫ

говских фигур, полагая, что они дадут материал для выбора между противоположными теорией Франклина и Симмера; но вскоре оказалось, что фигуры эти одинаково объяснимы и с точки зрения единства и двойственности электрической жидкости.

Вольта между тем продолжал свои электрические работы с большим успехом. В 1781 г. он изобрел *соломенный электрометр* и сумел придать ему очень большую чувствительность; кроме того, эти приборы были так точны, что показания новых электрометров были сравнимы не только между собой, но и с показаниями других электрометров. Однако он не удовольствовался этим прибором и для случаев малых количеств электричества изобрел в 1782 г. *электрический конденсатор*, который впоследствии (1787) он связал непосредственно с электроскопом, сделав его, таким образом, важнейшим прибором для исследования очень слабых источников электричества. Из прочих изобретений Вольты за этот период времени упомянем еще об *электрическом пистолете* (1777) и важном приборе *эвдиометре*, употребляемом благодаря своей надежности еще и настоящее время¹.

Вообще в это время было предложено много видов электрометров. В 1779 г. *Кивалло* заключил пробковый электрометр Кантона в стеклянную банку, чтобы устранить влияние воздушных течений. *Генли* уже в 1772 г. устроил свой *квадратный электрометр*, а *Беннет* опубликовал в 1787 г. описание своего *электрометра с золотыми листочками*. Крутильные весы *Кулона*, этот наиболее тонкий прибор для измерения количеств электричества, были тоже изобретены в это время. Такое обилие приборов для измерения электричества ясно указывает, что уже созрела потребность заняться количественной стороной явлений, которые до тех пор изучались лишь качественно.

До описываемого времени электрики почти не задавались математическими вопросами, но теперь, когда в основу объяснения электрических явлений были положены жидкости с отталкивательными и притягательными свойствами, естественно возникли вопросы о *количествах этих жидкостей в наэлектризованных телах и о законе зависимости сил, присущих этим жидкостям, от расстояния*. Первой цели еще кое-как удовлетворяли наличные электрометры, но для второй долгое время не находилось ни приборов, ни подходящих исследователей. Так, знаменитый химик *Генри Кавендиш* попытался в 1771 г., исходя из теории единой электрической жидкости, определить зависимость действия электричества от расстояния. Однако он не смог допустить, чтобы уменьшение силы притяжения электричества, подобно тяжести, происходило пропорционально квадрату расстояния, и оставил вопрос о показателе степени расстояния пока нерешенным, колеблясь между 1 и 3. Надежные основы для этих исследований, приведшие к правильным результатам, были даны Кулоном.

Шарль Огюстен Кулон родился 14 июня 1736 г. в Ангулеме. Окончив учение, он поступил на военную службу, пробыл несколько лет на

¹ Из приборов Вольты сохраняются: 1) в Миланском королевском институте наук — электрофор, электрометр, конденсатор, водородная лампа; 2) в Комском лицее Вольты — электрофор, электроскоп, водородное огниво, электрический пистолет, эвдиометр (*Gerland, Leopoldina, XVIII, 1882*).

КУЛОН. КРУЧЕНИЯ. ЗАКОН КУЛОНА 329

острове Мартинике и, вернувшись оттуда по расстроенному здоровью, поступил на службу инженером по крепостным и водным сооружениям. Одновременно он занимался научными исследованиями в области механики, магнетизма и электричества. Благодаря своим научным трудам он пользовался большим почетом, получил звание подполковника инженерных наук, в 1781 г. был избран членом академии, а затем был также назначен одним из генерал-инспекторов министерства народного просвещения. Когда разразилась революция, он отказался от всех должностей и отдался исключительно научным исследованиям. Умер он 23 августа 1806 г. в Париже. Уже в 1777 г. Кулон опубликовал исследования об *измерении кручения волос и шелковых нитей*; позднее он присоединил к ним исследования над *кручением металлических проволок* и опубликовал подробное описание своих приборов в сочинении «Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de métal etc.; construction de différentes balances de torsion pour mesurer les petits degrés de force» («Per. Mém.», 1784). При посредстве своих крутильных весов, которыми он пользовался при этих измерениях, он произвел тогда точные измерения электрических и магнитных сил, изложенные им в мемуарах Парижской академии между 1785 и 1788 гг. Приняв существование *двух электрических жидкостей*, чем он сильно помог победе дуалистической теории, он с помощью своих весов *показал относительно обеих жидкостей, что их отталкивательные, а вместе с тем притягательные силы находятся в обратном отношении к квадратам расстояний*. Так, например, сообщив маленьким шарикам своих весов столько электричества, что плечо крутильных весов отклонилось на 36° , он закрутил подвесную нить навстречу отклоняющей силе на 120° , и тогда отклонение уменьшилось до 18° , а когда он закрутил нить на 567° , отклонение уменьшилось почти до 9° . Значит, отклонения шариков на 36° , 18° и 9° соответствовало закручиванию нити на 36° , приблизительно на 144° и приблизительно на 576° , последние же величины, а, следовательно, и отталкивательные силы действительно находятся в обратном отношении к квадратам отклонений или расстояний. Затем Кулон занялся изучением *распределения электрической жидкости* в наэлектризованных телах, и нашел, что и оно следует данному им закону отталкивания, именно, что в соответствии с ним жидкости не распространяются по всей массе тел и не вступают с ними в соединение вроде, например, химического; в проводниках они располагаются лишь на поверхности, собираясь в различных местах более или менее густо в зависимости от кривизны поверхности, в непроводниках же они проникают внутрь тела. *Теорию двух жидкостей, равно как закон их действия*, Кулон распространил на *магнит*; но здесь он принял, что *всякий магнит состоит из множества элементарных магнитов*, в каждом из которых имеются обе магнитные жидкости и действие которых находится в обратном отношении к квадрату расстояния. Затем он доказал, что всякий магнит может быть насыщен магнитной жидкостью лишь до известного предела; что магнит действует в некоторой степени на все тела; что земной полюс притягивает и отталкивает магнит одинаково сильно и что направляющая сила земли, действующая на магнитную

330 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СКАТ. ПРИСТЛЕЙ

стрелку, пропорциональна кубу длины этой стрелки. Кулоновская теория жидкостей и закон действия их сил открыли возможность математического исчисления распределения электричества на телах правильной формы, а крутильные весы дали возможность точно проверить результаты вычисления та опыте. Однако этот прибор долго не был оценен по достоинству, а зачастую экспериментаторам не хватало необходимого умения им пользоваться. Вольта считал свой электрометр более подходящим прибором для измерения, чем крутильные весы, а проф. *Кэми* получил при посредстве крутильных весов для показателя степени, в которой электрические силы уменьшаются с расстоянием, не 2, а 1,237 результат, очевидно происшедший либо от неточности манипуляций, либо от негодности прибора.

В 1772 г. англичанин *Джон Уэльш* (ум. в 1795 г.) открыл новый источник электричества в рыбе, известной с тех пор под именем *электрического ската*. *Raja Torpedo*. Способность этой рыбы давать сильные удары была известна издавна; о ней упоминает *Аристотель* и *Плиний*, а по *Диоскориту* и *Галену* ударами ее лечили ломоту и мигрень. В новое время *Реди*, *Реомюр* и др. исследовали специальный орган, которым рыба наносит удары; но составные части его были приняты за мышцы, и удары были признаны действием мускульной силы. Когда впоследствии подобное же свойство было открыто в электрическом угре и в электрическом соме, стали подозревать электрическую природу ударов, но точно было это доказано лишь опытами *Уэльша* в Ларошели. Вслед за этим знаменитый анатом *Джон Гунтер* опубликовал превосходные описания электрического органа. Сочинения обоих авторов появились в «*Philos. Transact.*» в 1773 г.

В заключение упомянем о Пристлее как о чрезвычайно важном *историке электричества*, — ученом, который имел значение и как исследователь-физик, но больше известен своими капитальными работами в области химии. Поразительно быстрые успехи естественных наук, а также и математики не оставляли места для интереса к истории развития этих отраслей знания вплоть до половины XVIII столетия; но мало-помалу стала чувствоваться потребность обсудить с объективной точки зрения *источники и ход развития науки*, и в конце XVIII столетия (а также и в начале XIX) появились многочисленные сочинения по истории наук, в том числе и физики. Монтюкла в своей обширной гениальной истории математики дал подробный обзор исторического развития математической физики, а Пристлей написал хорошую историю электричества и оптики.

Джозеф Пристлей родился 13 марта 1733 г. в Фильдгеде, около Лидса. Отец его был купец, придерживавшийся пресвитерианской церкви. По окончании учения молодой Пристлей сделался учителем в Диссентерской академии в Уаррингтоне, а потом с 1767 г. — проповедником в Лидсе. Первым его сочинением в 1761 г. была английская грамматика, которая и до сих пор не потеряла своего значения. В 1765 г., в бытность свою в Лондоне, он получил предложение от Франклина, Уатсона и др. написать историю электричества. Сочинение это появилось через два года под заглавием: «*History and present state of electricity with original experiments*» (Лондон, 1767 г.; прибавления —

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ 331

1770 г.). Оно получило всеобщее одобрение, выдержало много изданий, а в 1774 г. появилось в немецком переводе. Автор был избран членом Королевского общества. Живя в Уаррингтоне вблизи пивного завода, он стал исследовать воздух, выделяющийся при брожении, а также влияние его на дыхание и горение. Тогда же он открыл в растениях способность восстанавливать испорченный воздух. В 1772 г. он предложил способ готовить искусственные минеральные воды, а в 1774 г. действуя зажигательным стеклом на ртутную известь (т. е. окись ртути), он получил «дефлогистезированный воздух», т. е. кислород. В 1772 г. появилось другое его историческое сочинение, именно: «History and present state of discoveries relating to vision, light and colours» (Лондон, 1772 г.; на немецком— 1775 г.). Эта история оптики встретила в Лондоне не вполне благоприятный прием, поэтому Пристлей удалился с графом Шельберном, к которому он поступил домашним учителем, в поместье; предавшись здесь на досуге физическим и химическим работам, он, опубликовал их результаты в целом ряде сочинений. В 1775 г. он занялся философией и, несмотря на свою крайнюю религиозность, в психологии стал на сторону чисто материалистической системы Гартли, вследствие чего он разошелся со своим графом. С 1780 по 1791 г. он был проповедником в Бирмингеме, где во время народного возмущения как свободный мыслитель он потерял все свое состояние и чуть не поплатился жизнью. В 1794 г. он переселился в Пенсильванию и умер 6 февраля 1804 г. в г. Нортумберленде.

Историю физики нового времени мы заканчиваем 1780-м годом, хотя и не можем указать выдающегося гения, который начал бы с этого времени новую эпоху, и хотя сама наука не делает здесь крутого поворота в своем дальнейшем развитии. Впрочем, общего внезапного потрясения в столь обширной научной области, какой стала физика, уже нельзя было ожидать. Даже внезапное развитие такой новой отрасли, как гальванизм, уже не могло составить эпохи для всей науки в целом, тем менее могли это сделать работы какого-либо одного математика или физика-экспериментатора, так как один человек уже едва ли был в состоянии охватить целиком всю область этой науки. То же нужно сказать и о натурфилософе, который попытался бы в единой формуле подвести общие итоги всему сделанному. Итак, собственно, здесь нет такого резкого поворота в ходе нашей науки, который дал бы основание рассматривать период 1780—1790 гг. как отдельную главу истории физики или вообще отделить новую физику от современной; тем не менее, мы полагаем, что для такого разделения имеется достаточно оснований. Мы приведем эти основания и укажем ряд факторов, которые, хотя и действовали медленно, но в результате постепенно сообщили науке новый вид. Основания для такого разделения мы находим частью в самой физике, частью в соприкасающихся с ней науках.

В физике единственным элементом, обещавшим открыть новую эпоху, являлось развитие электричества. Но *электричество от трения*, в зачаточном виде известное уже в древности, развива-

332 ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

лось очень медленно вплоть до начала последнего своего быстрого роста и вследствие этого оказало столь мало реального влияния на все прочие отрасли физики, что мы можем и последний период ее расцвета вполне естественно отнести к предшествующему периоду истории физики. Напротив, *гальваническое электричество* и основанный на ней *электромагнетизм* настолько чужды прежней физике, что даже самый восторженный поклонник старой науки не мог бы указать в работах греческих или римских физиков какого-либо намека на представление о гальваническом элементе или об электромагните. Но еще важнее то обстоятельство, что *гальваническое электричество* все сильнее влияло преобразующим образом на все остальные части физики, между тем как первый восторг, с которым были встречены в физике действия электричества от трения, испарился, как дым. Приняв существование двух отдельных жидкостей, теория электричества от трения совершенно отделила друг от друга различные части физики. Гальваническое же электричество, хотя на него и распространялась теория двух жидкостей, благодаря своему многостороннему действию на практике постепенно снова объединило то, что ранее было разъединено по теоретическим основаниям. С тех пор, как научились с помощью гальванических токов получать сильнейшие механические действия, свет, теплоту, а также стали передавать при его посредстве звуки на далекие расстояния и производить сильнейшие химические действия, фактически все отрасли физики, а также и химия оказались связанными единой силой, хотя понять и теоретически объяснить ее единство тогда еще не могли.

То мировоззрение, которое мы считаем наиболее характерным и плодотворным для физики современности, учение о единстве силы природы, нашло в гальванизме наиболее сильную и наглядную поддержку; хотя в математическом разрезе эта идея была впервые воспринята как эквивалентность механической силы и теплоты, но первый толчок к этому был дан гальванизмом, которому в будущем предстоит стать общим посредником при превращении сил. Поэтому мы уже с чисто физической точки зрения считаем наиболее целесообразным начать изложение современной физики с момента появления гальванизма и связанного с этим фактом завершения числа физических дисциплин.

В пользу последнего решения говорит и развитие *родственной науки, химии*, которая с этого времени приобретает все большее значение для физики. Примерно около 1780 г. химия благодаря *Лавуазье* получает научные основы. Точное наблюдение *количественных соотношений* при всех химических процессах, которое становится ей свойственным с этого времени, превращает ее в выдающуюся математическую науку, которая в своих количественных выводах приобретает чисто математическую надежность. *Открытая этим путем удивительная закономерность химических явлений побуждает к дальнейшим пояснительным опытам, которые, однако, можно проводить лишь на основе каких-либо пред-*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ 333

положений о природе вещества. Поэтому химик снова становится натурфилософом раньше и в большей мере, чем физик, а так как атомная теория, если оставить в стороне чисто принципиальные трудности, оказывается чрезвычайно плодотворной для классификации и объяснения химических явлений, то химик с большим усердием разрабатывает ее и в этой работе скоро приходит в соприкосновение с физиком. Химия первая строит и все больше проверяет эту гипотезу, но скоро и физика использует доставленный ей материал. Это привело к дальнейшему усилению связи между обеими дисциплинами, которая скоро сказала на развитии *теории газов, теории теплоты* и которая с течением времени становилась все плодотворнее. Правда, вследствие огромности материала, физик и химик работают уже отдельно друг от друга; но по существу связь между обеими науками все-таки никогда раньше не бывала столь тесной, как теперь.

Подобно химии, и в философии совершился в 1780 г. значительный переворот, таивший в себе задатки большого влияния на физику в будущем. Правда, творения Канта — «Критика чистого разума» (1781) и «Метафизические основы естествознания» (1776) — не могли оказать на физику непосредственного влияния. Но, с одной стороны, новые воззрения, введенные вообще в философию Кантом; настолько усилили последнюю, что она вскоре снова решилась на построение собственных натурфилософских систем; с другой стороны и физика не могла в течение долгого времени оставаться вне среды влияния кантианской философии. А в настоящее время *каждому натуралисту тщательное изучение Канта определенно рекомендуется даже теми, которые не присоединяются слепо к всеобщему призыву «назад к Канту».*

Если, наконец, принять во внимание, что с 1780 г., после завершения Уаттом паровой машины двойного действия, техника стала развиваться с небывалой до того быстротой, видоизменила самый строй нашей социальной жизни и, наконец, стала влиять обратно на физику, ранее полагавшую для нее пути, то понятно, что 1780-й год должен быть признан гранью, отделяющей физику прошлого от новейшей современной физики.

334 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аверани 243
Агвилониус 89
Аджунти 175
д'Алибар 294
д'Алибер 9
Альгевер 210
Альгазен 72
Амонтон 179, 247 249, 325
Андерсон 280
Балдуин 139
Баркер 318
Барроу, Исаак 133, 142, 192, 243
Бартолинус 155, 239, 240
Бауш 152
Бевис 289
Беккария 284, 295, 327
Беллармин 87
Бенедетти 49, 54, 59
Беннет 328
Бергман 305, 306
Беригард 110
Бернулли, Даниил 258, 272, 274, 276, 277, 279, 281—282, 316, 322, 323, 325, 326
Бернулли, Иоганн 41. 227, 237, 243, 244, 251 252, 260—264, 274, 276, 280
Бернулли, Николай 263
Бернулли, Яков 205, 227, 237, 243, 260—262, 274
Бертус 161
Бертье 296
Бина 284
Блондель 280
Блэк 318 —320, 324
Бозе 286, 290
Бойль 45, 140, 150, 151. 165 170, 176, 193, 194, 206, 208, 209, 210, 238
Больцман 18
Бонд 301
Борда 282
Борелли 21, 153, 171, 174—176, 220
Борель П. 75, 243
Боскович 31, 306—308
Брадлей 212, 265
Брайтон 256
Бранд 139
Броункер 151
Буге 275, 299—300, 302, 322
Буллиальд 220
Бультон 325
Буоно 171
Бюрги 183, 184—185
Бюффон 277—278, 294
Бэкон, Рожер 74, 214
Бэкон, Фрэнсис, барон Веруламский 7, 8—9, 10, 19, 40, 45, 46, 95—108, 116, 139, 148, 153, 194, 216, 229

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 335

Валлис 151, 180—181, 182, 220, 253, 259

Валль 251

Варен 230

Вариньои 223

Веджвуд 302

Везалий 7

Вейгель 246

Вивиани 53, 112, 118, 171, 174, 184

Виллемо 265

Вильке 302, 303, 304—305, 306, 319, 320 327

Винклер 286, 287, 291, 294

Вокансон 214

Воластон 301

Вольта 327, 328, 330

Вольтер 236, 244, 276

Вольф, Христиан 215, 218, 219, 244, 251, 253, 266, 267—268

Вильферс 237

Воэций 27

Вудворд 205

Гадлей Джон 274, 299

Гадлей Джордж 274

Галилей, Винченцо 60—61, 184

Галилей, Галилео 6—14, 20, 21, 26, 36—37, 40, 41, 45, 46, 47, 48 67, 74, 78, 84—89, 108—113, 116, 117, 118, 139, 147, 183, 184, 223, 245

Галлей 142, 205, 210, 211, 222, 227, 237, 249—251, 253, 322

Галлер 204

Гамбергер 320

Гарвей 7, 44, 100

Гарриот 72, 90

Гаррисон 266

Гартсекер 243, 250, 252

Гасконь 179, 200

Гассенди 15, 45, 134—138

Гаузен 285

Гауксби 209, 251, 252, 281

Гвидуччи 88

Гевель 152, 179, 183

Гегель 31

Гейлинкс 154, 218

Гейне 215

Геллибранд 114

Гельмонт 44

Генли 328

Герике 141, 155—165, 167, 208

Герман 244

Герц 18

Герцен 24, 31

Гильберт 67 71, 100

Гислинг 286

Гиортер 279

Гоббс 132, 153—154, 178

336 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Годфри 299

Гольс 256

Гофман 215

с'Гравезанд 215, 241, 244, 281

Гралат 288

Грасси 88, 89, 110

Грация 87

Грегам 264 266, 281, 289, 325

Грегори Давид 237, 263, 298

Грегори Джеймс 180, 237

Грек 264, 269—270

Гримальди 46, 147—149, 183, 198, 238

Губе 284

Гук 151, 153, 166, 176—180, 187, 193, 198, 200, 201, 209, 220, 221, 222, 238, 299

Гунтер 330

Гутшовен 9

Гюйгенс 41, 94, 131, 152, 153, 155,

179, 180, 181—182, 182 189, 201,

203, 207—208, 226, 237, 238—242,

243, 244, 316

Даламбер 245, 259, 273, 274, 275, 276, 298, 317

Далансе 209, 210, 250

Дезагюлье 200, 215, 271—272, 281, 325

Дезе 230

Декарт 7, 9—10, 11, 15—18, 26 27, 29, 41, 45, 72, 116, 117, 120—134, 145, 153, 154, 161, 179, 185—186, 190, 196, 226, 226, 244, 247, 251

Делер 294

Дельбар 229

Делюк 211, 278, 284, 308, 318 319, 321—323

Дергам 187, 210, 253

Дешаль 20, 133, 137, 190 191

Джурин 277

Дивини 242, 299

Дивиш 295

Дидакус 88

Дитрих 279

Доллонд 298, 299

Доминис 89—90

Дреббель 51, 75

Дроз (отец и сын) 215

Дэви 292

Дюлонг 264

Дюталь 251

Жальябер 290

Жилло 9

Зегнер 317—318

Зорге 260

Интенгоуз 297

Кабео 24, 25, 114

Кавалло 328

Кавальери 21, 142

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 337

Кавендиш 289, 305, 328
Казреус 137
Кампани 242
Кант 17, 31, 244—245, 283, 368, 333
Кантон 295, 296—297, 302, 306
Капра 51, 67
Каркави 152
Карно Сади 20
Каскариоло 139, 251
Кассини, Доминик 152, 171, 189, 212, 275
Кассни, Жак (младший) 252, 275
Кассни де Тюри 277
Кастелли 51, 67, 87, 88, 112, 117
Кастель 195
Кателан 186
Каули 255
Каччини 87
Кейль 237, 263
Кемпелен 215
Кеннингэм 265
Кеплер 45, 46, 47, 67, 71—73, 85, 86, 90—92, 220
Кеслер 142
Кестнер 276
Киарамонти 110
Киннерсли 293
Кирхер 25, 113—114, 138—141, 183, 220
Клавиус 87
Кларк 216, 236, 244
Клейст 286
Клемент 185
Клеро 275, 288
Клерселье 132, 133
Клингенштерн 298, 319
Ко 253—254
Кокс 243
Коломбе 67, 87
Кондамин 275, 277
Коперник 70, 82, 88
Корезио 87
Котс 29, 30, 233, 236, 237
Крамер 263, 277
Крауфорд 319, 320
Краценштейн 290, 320
Кремонино 67
Крис 309
Куарье 294
Кулон 284, 326, 328—330
Кунеус 287
Кэмц 330
Лавуазье 320
Ла-Гир 205, 210, 215, 275, 325

338 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Лагранж 274, 317
Лакайль 277, 300
Ламберт 299, 300—302, 323, 325—326
Ламонтр 250
Ланис 215
Лаплас 211, 320
Лейбниц 25, 32—34, 41, 212, 218, 219, 244—247, 249, 256—257, 261, 269, 306
Лека 323
Лемери 305
Лемонье 289, 294, 295, 296
Леопольд 209, 249, 256
Леруа 321, 325
Лесли 209
Лессинг 245
Либеркюн 299
Линней 305
Линус 167, 200
Липперсгейм 74, 75, 76, 77
Литцендорф 285
Лихтенберг 327
Локк 154
Лонгомонтан 137
Лопиталь 243, 261, 262
Лукас 200
Людольф 286
Мавролик 72
Магалотти 171
Магнус 214
Мазеас 278, 294
Майер, Роберт 31
Майльс 286
Маклорен 273, 274
Мальбранш 154, 218
Маральди 241, 275, 277
Мариотт 167, 179, 200, 204 207, 210, 323
Мариус 77, 86
Маркс 16—17, 35
Марци 142—143
Маццони 8, 48
Мейер 266, 275, 322
Менке 153
Меньяк 133
Меран 244, 252, 268, 277, 279
Мерсенн 15, 66, 111, 115—117, 152, 183, 185, 259
Мециус, Адриан 76
Мециус, Яков 74, 75, 76
Молине 209
Мольер 24
Монконис 267
Монтанари 171, 176, 178
Монте, маркиз дель 49, 50, 54, 87

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 339

Мопертюи 237, 275—276

Морен 137

Морленд 140, 179

Мутон 188

Мушенбрек 94, 278, 279—280, 287, 302

Нейль 243

Нобель 259

Нолле 208, 270, 278, 289—291, 296, 306

Норвуд 147, 189

Норман 68

Ноэль 265

Ньюкомен 255, 256

Ньютон 17, 18, 28—30, 41, 130, 153, 168—169, 178, 180, 190, 191, 192—203, 212, 216, 220—238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 249, 251, 258, 262, 263, 175, 281, 297, 299

Озу 152, 179, 243

Ольденбург 151

Оссиандер 30

Оффиреус 215

Пальмерини 87

Папен 155, 183, 189, 207 208, 215, 244, 255, 256—257

Пардиз 201

Паран 215, 249, 325

Паскаль 15, 119, 144—146

Пембертон 237

Перро, Клод и Пьер 205

Перье 145

Пивати 290, 291

Пигот 259

Пикар 152, 179, 189, 210, 251

Планта 297

Порта 74

Поттер 255

Прайс 308

Пристлей 306, 308, 315, 330—331

Пти 264

Рамзден 297

Реаль 183—184

Региомонтан 214

Ради 171, 333

Рейв 243

де-Рейта 137

Рембранц 9

Ремер 152, 155, 183, 189, 211—212

Рен 150, 180, 181, 182, 222, 237

Ренальдини 171

Ренье 325

Реньо 264

Реомюр 278, 830

Рессонс 280

Рихуан 296

Рихтер 200

340 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Рнцетти 200
Рнччи, Остилио 8, 13, 48
Риччи, М. А. 171
Риччиоли 137, 146—147, 183, 189
Рише 189—190, 230
Роберваль 152, 186, 191, 220, 267
Робинс 281
Рого 130, 236
де-Рома 296
Ротман 73
Румфорд 302
Сагредо 50, 51
Сальвиати 50
Сенгверд 209
Сиго 297
Сильвиус, Боэ 44
Симмер 304
Сиртурус 78
Смит 277
Снеллий 94—95
Север 257—258, 259—260
Соссюр 284, 321
Спиноза 246
Станкари 257
Стевин 60, 146
Стекли 284
Стенонс 171
Сэвери 254—255
Тарджионн 243
Тарталья 12—13
Тартини 260
Тевно 171, 179
Тихо Браге 47, 68, 71, 72, 73, 79, 80, 81, 183
Томпион 264
Томсон 18
Торичелли 13, 21, 46, 112, 117—119, 144
Тоунлей 167, 210
Тэйлор 258—259, 263
Уард 193
Уатсон 286, 289, 291, 295, 305, 330
Уатт 266, 285, 323—325
Уилер 269, 271
Уильсон 295, 305, 306
Уистон 253
Улива 171
Уорчестер 254, 255
Уэльш 330
Фабри 166, 171, 175
Фабриций 7, 87
Фарадей 308
Фаренгейт 266—267

Ферма 9, 132, 133, 220
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 341
Фехнер 308
Фицджеральд 256
Флюдд 191
Фолькс 289
Фонтана 179
Фонтенель 237
Фоскарини 88
Фосс 94, 131, 176
Франклин 219, 291 295, 305, 330
Фраунгофер 204
Фурнье 11
Фусс 299
Целльнер 301
Цельсий 278—279, 322
Цукки 116
Честер 299
Чирнгаузен 293
Шатле 237, 244
Шееле 324
Шейнер 26, 47, 74—75, 86, 92—94, 110
Шейхцер 322
Шобер 322
Шотт 47, 141—142, 157, 159, 215
Штремер 279
Штурм 209, 215
Шуленбург 178
Эйлер 240, 250, 258, 262, 266, 272, 273, 275, 277, 279, 281, 285, 287, 297—298, 299, 306,
308—315, 316, 317
Энгельс 19—20, 31
Эпинус 302, 303—304, 305—306
Эриксон 321
Юм 217
Янсен 74, 75, 93

342 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аберрация сферическая 196
- » хроматическая 196
- Автоматы 214—215
- Академии 151—153, 170—174, 189 —190, 219
- Акустика 46, 65—66, 115—116, 136, 140, 150, 189, 257—260, 277
- Анализ бесконечно-малых 213, 272
- Анаморфозы 141
- Анкерное регулирование маятника 265
- Ареометр 171, 174, 267
- Арматура магнита 66—67, 69
- Атеизм 30
- Атмосфера электрическая 303
- Атомистика 36, 37, 38, 45, 70, 135—136, 165—166, 170, 218, 230, 306, 307—308
- Ахроматизм 285, 297—299
- Баллистика 12—13, 280—281
- Барометр 118—119, 159—160, 179, 189, 210—211, 218, 251—252, 264, 321—323,
- Барометра уровень 206—207, 321—323
- Батарея электрическая 287
- Безмен 50—51
- Биения звуковые 258, 260
- Блуждающие огни 127, 191
- Боязнь пустоты 63, 118
- Брахистохрона 262
- Брожение 262
- Ватерпас (уровень) 179—180
- Ветер 206—207, 211, 268, 274
- Виртуальная скорость см. Скорость
- Вихри Декарта 124—129, 230, 236, 250
- Вода, упругость ее 169
- Водолазный колокол 141—142
- Воздушное давление см. Давление воздуха
- Воздушный насос см. Насос
- Волновая теория света 148—149, 177, 201—204, 238—239, 308—311
- Волны стоячие 66
- Волосность см. Капиллярность
- Волшебный фонарь 138
- Вращательный привод паровых машин см. Привод
- Вращение тел 316—317
- Главные оси тел 317
- Глаз 46, 73, 92—93, 277—278, 297—298
- Горение 151, 167
- Градусные измерения 147, 189, 275
- Громоотвод 293—296
- Давление воздуха 63, 116, 118 119, 141, 158—161, 167, 172, 176
- Действие на расстоянии 32, 71, 135, 232—233, 236, 247, 306, 311—312
- Динамика 12—13
- Динамометр 325
- Дисперсия света см. Светорассеяние
- Дифференциальный термометр 209

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 343

Дифракция 46, 147—149, 151, 178, 191, 194, 198—199, 226, 241

Дождеизмеритель 210—211

Дождь и снег 141

Замерзание 150, 169, 268, 318

Землетрясения 136

Земной магнетизм см. Магнетизм

Зеркало зажигательное 243

Зрительные трубы 10, 43, 46, 74—78, 84—86, 91—92, 93—94, 179, 196, 242—243, 298—299

Змей Франклина 294—295

Иезуиты 20—27

Изогонические линии 250

Изохрона 261

Индукция магнитная 69

» электрическая 302, 303

Инерция 56, 83, 122, 223

Интерференция света 148, 241

Искра электрическая 252, 270, 293

Истечение жидкостей см. Скорость истечения

Истечения света теория 201—203, 308—310, 315—316

Источники, их образование 205

Калориметр 320

Капиллярность (волосность) 150, 175—176, 261

Катетометр 264

Кеплера законы 80, 81—82

Кипение 150, 167, 172, 191, 208, 210, 248, 318

Количество движения 181—182, 244

Кометы 125, 230

Конденсатор паровой машины 324

» электрический 328

Кондуктор электрической машины 286

Косность см. Инерция

Косоглазие 278

Круги около солнца и луны 191, 204

Кругов деление 179, 265

Крутильные весы 329

Кручение 329

Лед 172

Лейденская банка 286—287, 293

Линия полета падающих тел 49, 52, 61, 226, 261, 262

Магдебургские полушария 159

Магнетизм 45, 66—67, 67—69, 84, 113, 114, 127 128, 151, 162, 172, 214, 250—251, 264—265, 270, 303—304, 314—315, 329—330

Магнетизм земной 68, 114—115, 249—251, 264—265

Манометр 160

Маховое колесо 256, 325

Маятник 48, 54, 58, 60—61, 116, 175, 182, 183, 184, 185, 186—188, 227, 228, 265—266

Маятник секундный 189, 190, 211

Медицина и естествознание 7

Меркуриальный фосфор 251, 252

344 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Метеорология 146, 150, 161, 171, 209—211, 247—249, 320—323
Метеоры 253
Методология физическая 5
Механика 51 64, 116, 122 123, 136—137, 143, 146—147, 180—182, 183, 185—188, 191, 204—205, 220—225, 226—227, 229—232, 234, 234—236, 243—245, 249, 261, 262—263, 264, 273—275, 316—317, 325—326
Механическая методология 35
Микрометр 179
Микроскоп 46, 94, 299
Мираж 138
Молния 129, 251, 294, 295, 296
Момент силы 53, 59
Монады 246, 247
Наименьшего действия принцип 276
Наклонение магнитной стрелки 68, 265, 279
Наклонная плоскость 55, 58—59
Насос воздушный 141, 158, 159, 161, 164, 166—167, 207—208, 208—209
Насос нагнетательный 209
» центробежный 257
Наука иезуитов 20—27
» официальная 6—8
Обертоны 116, 259, 277
Облака 191, 261
Оптика 46, 66, 71—74, 89—95, 116—117, 124, 130—134, 136, 138—140, 142, 143, 147—149, 151, 168—169, 172—173, 177—178, 192—204, 212, 225—226, 228, 236, 238—243, 264, 277—278, 285, 297—302, 307—308, 309, 315, 330
Оросительная машина 10
Отталкивательные силы 304, 307— 308
Отталкивательная сила теплоты 320
Отталкивание электрическое 162, 304
Отражение полное 91
Отражение света 194, 239
Охлаждающие смеси 169
Охлаждение газов при расширении 208
Падение тел см. Свободное падение
Параллакс неподвижных звезд 212
Параллелограмм сил 60, 223
» Уатта 324
Паровой котел Папена 208
Паровая машина 214, 253 257, 324—325
Паровая мельница 325
Паровое судно 257
Паровая повозка 257
Переохлаждение 267
Пирометрия 302
Пистолет электрический 328
Плавление 63, 104, 220, 318—319
Планеты 80, 81 82, 84, 85, 87, 174, 178, 228—229, 229 230, 232, 262, 270—271
Побочные солнца и луны 191, 204
Погреба, их температура 207
Подводное судно 257
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 345

Подковообразный магнит 279
Подушка электрической машины 286, 291
Поляризация света 203, 242
Порох 262
Правила для исследования природы 299
Предварение равноденствий 230
Предохранительный клапан 208
Преломление света 46, 72, 94—95, 132—133, 192, 194 195, 196, 197, 199, 200, 201, 239, 240—241
Преломление света двойное 203, 239—240
Привод вращательный 256, 324, 325
Приливы и отливы 83, 109, 126—127, 147, 220, 230
Принцип д'Аламбера 274
Приступы световых лучей 197—198, 199, 202, 307
Проводники электричества 271
Прочность см. Твердость
Работоспособность 325—326
Радуга 89—90, 133—134, 196
Разрядник электрический 287
Распределение электричества 330
Растворение твердых тел 190
Растворение воды в воздухе 320—321
Регулятор паровой машины 324
Резонанс 259
Рефракция см. Преломление света
Ртуть светящаяся 264
Рупор 140
Светорассеяние 46, 143, 194 199, 297—298
Свободное падение тел 49—50, 54—58, 117, 137, 146—147, 188, 221
Северное сияние 250, 279
Секстант 274
Сила, трактовка понятия 17—18
Силы живые и мертвые 244
Склонение магнитной стрелки 265, 279
Скорость виртуальная 45—46, 52 53, 64
Скорость звука 110, 136, 172, 189, 228, 277
Скорость истечения жидкостей 116, 117, 227
Скорость света 66, 172, 212, 239
Скорость свободного падения см. Свободное падение
Скорость электричества 289
Слепое пятно глаза 204
Слышимости пределы 260
Солнечное изображение в тени 72
Солнечные пятна 85—86
Сопrotивление среды 147, 190, 191, 226, 227, 263, 281—282
Сохранения силы закон 245
Спектральные явления 151, 194—196, 202
Статический момент 186
Стеклянные слезы 150, 178
Струи колебания 46, 65 66, 115—116, 258—260
Сфера электрического действия 303
346 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Схоластика 14—15, 43, 44
Сцепление 191, 307
Таутохрона 187
Таяние см. Плавление
Твердость тел и плотность 62—63, 165—166, 202, 205
Телескоп Галилея 10
» зеркальный 116—117, 180, 192, 193
Тепловая машина 257
Теплота 46, 51, 70, 101—105, 136, 150, 161, 169, 172, 207, 208, 248—249, 257, 267—268, 285, 318, 319—321, 323—324
Теплота скрытая 268, 319
Теплота удельная 319—320
Термометр 46, 51, 150, 161—162, 171, 174, 210, 214, 247—248, 266—267, 278—279, 318
Термометр дифференциальный 209
Трение 249
Турбина 318
Турмалин 305—306
Тяжесть 45, 70—71, 82, 109, 126, 130, 178, 189, 191, 220—221
Тяготение всеобщее 178, 220—221, 229—230, 306, 307, 311—312
Удар 46, 62, 116, 125, 143, 175, 180—182, 263, 316
Ударная машина 182
Университеты 6
Упругая кривая 261
Упругость 127, 159, 247—248, 264, 307
Уровень см. Ватерпас
Усилительная банка см. Лейденская банка
Ускорение 188
Филология и естествознание 6—7,
Флогистон 218—219, 285
Флуоресценция 140
Фокусное расстояние 91, 142
Фокусные линии 243 261
Фосфоресценция 139, 151, 251, 290
Фотометрия 299—302
Цвет 46, 71, 89, 143, 151, 154, 168—169, 177—178, 194—201, 241—242, 278, 310—311
Цвета тонких пластинок 151, 168—169, 177, 193, 196—198, 190
Цвета истинные (естественные) 89, 151, 198
Цвета физиологические (субъективные) 139, 277
Цветорассеяние см. Светорассеяние
Цветные тени 277 278
Центробежная сила 109, 188
Центр качания 186, 261, 263
Центр тяжести 48, 316—317
Цепная линия 61, 261
Циклоида 187
Часы 180, 183—185, 265—266
Часы карманные 185
Часы с маятником 184
Часовая пружина 180
Эвдиометр 328

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 347

Электричество 42, 47, 62—70, 114, 135—136, 151, 162—163, 168, 214, 251—252, 269—271, 284—285, 285—291, 292—297, 302—303, 312—14, 315, 326—328, 329, 330, 332
Электричество атмосферное 295
Электричество в медицине 290, 330
Электричество рыб 330, 347
Электрическая машина 163, 285—286, 287—288, 297
Электрометр и электроскоп 270, 296, 328
Электрофор 327
Элементы тел 70, 126 128, 166, 306—308
Эолова арфа 140
Эфир 234, 236, 228—239, 261, 264, 308—315
Язык научной литературы 10—11
Якорь магнита 67, 69

Редакционная работа по этой книге проведена *А. П. Юшкевичем*. Издание оформлено *О. И. Пермяниновой*.; Корректуру держала *Н. Демина*. Наблюдал за выпуском *Л. М. Волкович*. Рукопись сдана в производство 27/II 1933 г., листы подписаны к печати 3/X 1933 г., книга вышла в свет в октябре, в количестве 5000 экземпляров, на бумаге формата 62×94¹/₁₆. Печатных знаков в листе 49000 листов 21¹/₂, заказ № 451, ГТТИ № 25. Ленгорлит № 23628.

DIE GESCHICHTE DER PHYSIK IN GRUNDZÜGEN

von

**Dr. FERD. ROSENBERGER
DRITTER TEIL**

**GESCHICHTE DER PHYSIK IN
DEN LETZTEN HUNDERT
JAHREN**

**ERSTE ABTHEILUNG
BRAUNSCHWEIG, FR. VIEWEG UND SOHN
1887**

Ф. РОЗЕНБЕРГЕР

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

**ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО ПОД РЕД. И. СЕЧЕНОВА,
ВНОВЬ ПРОВЕРЕННЫЙ И ПЕРЕРАБОТАННЫЙ В. С.
ГОХМАНОМ**

Предисловие С. Ф. ВАСИЛЬЕВА

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

**ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ
(XIX) СТОЛЕТИЕ**

ВЫПУСК I

**ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП
СССР**

**ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ И НОМОГРАФИИ
МОСКВА — 1935 — ЛЕНИНГРАД**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	21
Первый период физики последнего столетия (приблизительно от 1780 до 1815 гг.)	30
Период невесомых.....	—
Натурфилософия (приблизительно от 1780 до 1820 гг.)	34
Теория теплоты (приблизительно от 1780 до 1800 гг.)	68
Животное электричество (приблизительно от 1790 до 1800 гг.)	86
Механика (приблизительно от 1790 до 1810 гг.)	96
Тепловое расширение, теплопроводность (приблизительно от 1800 до 1815 гг.)	105
Батарея Вольты (приблизительно от 1800 до 1820 гг.)	116
Акустика, Хладни (около 1800 г.)	128
Волновая теория, поляризация света, учение о цветах (приблизительно от 1800 до 1815 гг.)	140
Второй период физики последнего столетия (приблизительно от 1815 до 1840 гг.)	164
Период превращения сил.....	—
Волновая теория света (приблизительно от 1815 до 1830 гг.)	172
Электромагнетизм (приблизительно от 1820 до 1830 гг.)	188
Учение о теплоте (приблизительно от 1820 до 1840 гг.)	205
Механика (приблизительно от 1815 до 1840 гг.)	224
Учение о волнах и акустика (приблизительно от 1820 до 1840 гг.)	240
Фарадей. Исследования по электричеству (приблизительно от 1830 до 1850 гг.)	254
Оптика (приблизительно от 1830 до 1840 гг.)	285
Именной указатель	294
Предметный указатель	299

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предисловиях к первым двум томам работы Ф. Розенбергера мы попытались довольно подробно охарактеризовать основные методологические идеи, руководившие немецким исследователем, и показать наиболее существенные недостатки как усвоенного им общего метода, так и специально социологических его конструкций. Это избавляет нас от необходимости в настоящем предисловии останавливаться на оценке соображений методологического порядка, развиваемых Розенбергером в первой части III тома своей работы, ибо соображения эти вполне тождественны тем, которые нам уже знакомы по первым томам.

И здесь Розенбергер защищает свою концепцию о том, что прогресс физики возможен только при обеспечении надлежащего единства трех основных элементов физического метода: гипотез философского характера, экспериментальной разработки последних и математической дедукции на основе опытных данных. Концепция эта, повторяем, осталась неизменной. Изменился только фактический материал, к которому она применяется. Изменение материала привело, конечно, к обнаружению новых сторон розенбергеровской схемы. Однако все специальные оттенки ее, вскрывшиеся в связи с новым материалом, в конце концов, не так существенны, и задерживаться из-за них на новом разборе уже рассмотренного вопроса вряд ли имеет смысл. Гораздо важнее вкратце очертить ту собственно историческую схему, которую положил Розенбергер в основу классификации материала, относящегося к истории физики XIX века.

Розенбергер доводит свое изложение эволюции физики до восьмидесятых годов. Решающим хронологическим рубежом, делящим развитие физических идей с конца XVIII века до конца XIX, является для немецкого автора — как это естественно полагать — открытие закона сохранения энергии. Поэтому первый выпуск III тома охватывает материал, подготовляющий это открытие; второй же — излагает как историю самого открытия, так и реформы всей физики, вызванной им.

Надо отдать справедливость немецкому историку в том, что он очень убедительно показывает, каким образом эволюция физики первой половины XIX века подводила постепенно к формулировке учения о превращаемости различных форм энергии (или «силы», как, следуя старинной терминологии, выражается Розенбергер) и какими путями подготовлялся крах учения о «невесомых». История разложения учения о «невесомых» прослежена

6 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

в книге очень неплохо, и ньютонианские идейные источники ее (к которым, впрочем, сам Ньютон имел лишь весьма косвенное отношение) указаны совершенно правильно. Справедлива и оценка реакционного значения учения о «невесомых» в XIX веке, долго тормозившего создание целостной широкой картины взаимодействия различных областей явлений физического мира.

Надо подчеркнуть, что учение о «невесомых» явилось более или менее естественным следствием сильной дифференциации физических исследований, ознаменовавшей конец XVIII века. Акустика, оптика, учение о теплоте, электричество и магнетизм стали изучаться совершенно самостоятельно, вне связи друг с другом. Это неизбежно должно было повлечь за собою значительное ухудшение общетеоретических представлений физика и внести в нее известные элементы плюрализма. Нельзя, конечно, отрицать, что следствием дифференциации явилось большое число специальных открытий. Однако прогресс в области специальных проблем был связан с регрессом в области общих концепций.

Розенбергер правильно указывает, что решающее значение в процессе распада метафизической теории «невесомых» и формировании новой монистической точки зрения сыграло открытие и исследование динамического (или, как говорит Розенбергер, гальванического) электричества и изучение электрохимических процессов. Хотя эта последняя точка зрения и связана у Розенбергера с некоторой недооценкой роли развития учения о теплоте, своими путями, независимо от учения об электричестве, приводившего к установлению принципа превращения энергии, основные факты все же изложены немецким историком правильно, и, например, освещение работ Сади Карно дано им вполне отвечающее действительности.

Сосредоточив свое внимание на истории разложения учения о «невесомых», Розенбергер допускает один довольно существенный пробел, оставляя в тени другой поток физической мысли конца XVIII и начала XIX века, иногда пересекавшийся с учением о невесомых и иногда развертывавшийся самостоятельно. Мы имеем в виду так называемую «физику центральных сил».

Создание первой цельной, стройной и разработанной научной теории строго детерминистического характера именно в форме небесной механики повлекло за собою множество последствий не только для физики, но и для всего научного мировоззрения. Однако на эволюцию физики, вследствие теснейшей связи ее с астрономией, это обстоятельство оказало наиболее сильное и непосредственное влияние. Можно совершенно определенно сказать, что подавляющее большинство теорий математической физики XVIII и начала XIX века сознательно или бессознательно стремилось подражать методу Ньютона, как последний нашел себе выражение в теории тяготения, и в качестве исходных предпосылок принимать допущения, аналогичные основным гипотезам теории тяготения.

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

Небесная механика оперирует такими пространственными масштабами, что небесные тела могут быть рассматриваемы по сравнению с расстояниями между ними как простые материальные точки. Поэтому для математической разработки теории движения небесных тел всюду, где можно отвлечься от их осевого вращения, достаточно элементарного допущения, что эти материальные точки обладают определенной массой и являются силовыми центрами, создающими вокруг себя гравитационное поле. Такая исходная база уже дает все необходимое для построения разветвленной и стройной математической системы, блестящим образцом которой в период, описываемый Розенбергером в настоящем томе, явилась «Небесная механика» Лапласа.

Успех подобной системы абстракций в области астрономии должен был, естественно, вызвать аналогичные теоретические конструкции и в физике. Физические теории математического характера вследствие этого очень долго носили на себе глубокую печать сильнейшего фамильного сходства с небесной механикой. Физики-теоретики, в конце концов, склонны были исходить из принципа, что между физикой и астрономией не существует никаких *принципиальных* различий и что соотношения, установленные для макроскопических масштабов, целиком могут быть применены для описания микроскопических процессов. Различие между макро- и микрокосмом сводилось, таким образом, помимо несущественных для формальной математической теории различий метрических масштабов, к некоторому своеобразию действия центральных сил. Если для величин астрономического порядка характер действия центральных сил определяется законом обратных квадратов, то для явлений молекулярного и атомного порядка этот закон заменяется законом обратных кубов, четвертых, пятых степеней и т. д. В итоге создавался взгляд, что все различия явлений физического мира могут быть сведены к различию экспонента, определяющего характер действия центральных сил, фигурирующих в тех или иных специальных случаях.

Разумеется, мы несколько упростили картину. К тому же в развернутой форме и со всеми надлежащими выводами она не была систематически разработана никем. Однако теория материи Канта (о которой Розенбергер говорит в настоящем томе даже излишне подробно), особенно в той ее форме, в которой она была предложена в одном из ранних сочинений кенигсбергского философа — «*Monadologia physica*» — и одновременно с этим разрабатываемое Босковичем представление об атомах как чистых силовых центрах («*Theoria philosophiae naturalis ad'unacam legem virium in natura existentium redacta*») сильно к этой картине приближались. В произведениях Лапласа, которые цитирует Розенбергер, также легко можно проследить аналогичные «концепции»¹,

¹ Ср., например, следующее место из „*Exposition du système du monde*“: „Между телами незначительных размеров сила тяготения не обнаруживается заметным образом; между элементами тел она проявляется в бесконечном разнообразии форм... Но тождественны ли в действительности эти силы

8 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

хотя, вообще говоря, принципиальная база физических работ гениального французского математика была довольно эклектична.

Как бы то ни было, но остается весьма показательным тот факт, что до сороковых годов XIX века в математически разработанных теориях физики имелась только одна, которая не сводилась, в конце концов, к теории центральных сил. Мы имеем в виду теорию теплопроводности Фурье. Симптоматичным является также то обстоятельство, что закон сохранения энергии получил всеобщее признание лишь после того, как Гельмгольц перевел заключенные в нем идеи на привычный для математиков-физиков язык физики центральных сил.

Основные формальные понятия общего учения об энергии, получившего после трактовки Гельмгольца односторонне-механистическое толкование, были подготовлены, в конце концов, именно на базе механики. Работы Понселе (и Кориолиса, имя которого почему-то совершенно не упоминается Розенбергером), Карно-отца, Монжа, Гаусса, Вебера и др. создали весь необходимый формальный математический аппарат для энергетики. Розенбергер, однако, справедливо указывает, оценивая работу этих математиков, что их исследования находятся «исключительно в *чисто механической области* и что понятия *энергия, работа и потенциал* здесь интерпретируются только *механически*. Полное значение для *всей физики* эти понятия получили лишь после того, как совершился великий переворот в наших воззрениях на природу и действие сил, после того как был установлен *закон сохранения силы*»¹. При этом немецкий историк все же не закрывает глаза и на то обоюдное влияние, которое оказали друг на друга приведенные выше понятия и идея сохранения силы. Первые, возникнув почти незаметно, распространяются постепенно и в некоторых кругах приобретают все большее значение, но до общего их признания дело не доходит. И вдруг, как будто без предварительной подготовки, появляется закон сохранения силы, и тогда только эти понятия оказываются настолько мощными, что они преобразуют самую идею силы или даже совсем вытесняют ее. Таким образом, с первого взгляда создается впечатление, будто приведенные понятия были оплодотворены идеей.

(плотность, кристаллизация, химическое сродство) с тяготением, наблюдаемым в небесных пространствах, и представляют ли они реально его модификации, обусловленные видом мельчайших частиц? Для принятия такой гипотезы необходимо предположить, что в телах имеются пустые, незаполненные промежутки, причем плотность их частиц значительно превышает среднюю плотность их масс... Промежутки между элементами тел в этом случае необходимо счесть равнозначными промежутками между звездами туманности, которую при этом воззрении следует рассматривать как большое светящееся тело. Ничто, впрочем, не препятствует нам смотреть на тела именно таким образом... Тогда сродство следует признать зависимым от формы соединяющихся частичек, и многообразие таких форм объяснит все различия притягательных сил. Все явления физики и астрономии, таким образом, сведутся к одному общему закону"... (стр. 212).

¹ Стр. 232 настоящей книги.

ПРЕДИСЛОВИЕ 9

сохранения силы; но более глубокое исследование могло бы, быть может, показать и обратное, а именно — постепенное возникновение закона сохранения силы из указанных предшествовавших ему по времени понятий»¹.

Мы видим, таким образом, что Розенбергер не склонен отрицать значения теоретической механики и тесно связанной с нею физики центральных сил в подготовке открытия закона сохранения энергии. Однако эта мысль не получила у него достаточного развития. Немецкий историк руководствовался, по всей вероятности, теми соображениями, что учение о центральных силах, нося чисто формальный характер, иногда своеобразно связывалось с учением о «невесомых» и — как особенно ярко показывает пример эмиссионной теории света — во всех подобных случаях уводило в сторону от признания единства и взаимной превращаемости сил природы. Поэтому главное свое внимание немецкий историк уделяет развитию картезианских мотивов в физике начала XIX века, справедливо усматривая в них основную струю физического мышления, разрушившую учение о «невесомых» и вплотную приведшую к формулировке сохранения энергии².

В интересах краткости нам придется ограничиться только этими беглыми соображениями относительно общей исторической схемы, положенной Розенбергером в основу настоящего тома его работы. Поэтому мы прямо перейдем к отдельным ошибочным оценкам, которые немецкий историк дает описываемым явлениям, оценкам, с которыми нельзя согласиться. Здесь в первую очередь необходимо остановиться на той манере, с какой он «расправляется» с немецкой натурфилософией. Розенбергер уделяет много места изложению натурфилософских идей Канта, отводит несколько абзацев характеристике спекуляций Шеллинга и ограничивается небрежной отпиской в отношении Гегеля. Распределение акцентов весьма характерное, но ни в коем случае не соответствующее истинному значению каждого из трех перечисленных мыслителей.

Можно понять, конечно, почему Розенбергер так много говорит о Канте. Когда писалась его работа, Кант был «модным» философом, особенно в Германии. От моды отступать было неприлично. Но требования моды не могут все же служить оправданием допущенных немецким автором ошибок. Зачем, например, утверждать, что Кант «первый выдвинул представление о внутреннем движении материи»³, когда это было сделано задолго до него Толандом и другими? Зачем, после изложения крайне сбивчивой и противоречивой посмертной работы Канта, не оказавшей никакого влияния на естествознание, говорить о том, что

¹ Стр. 232 настоящей книги.

² Характерна в этом отношении оценка Розенбергером работ Френеля и Фарадея.

³ Стр. 56 настоящей книги.

ее идеи «свидетельствуют... о состоятельности всей его критической системы»¹, а несколькими страницами ниже правильно указывать, что химическая атомистика опровергла основные принципы учения Канта о природе? Зачем обходить молчанием и оставлять без оценки главную мысль Канта, руководившую его натурфилософскими исследованиями — априористическое обоснование ньютоновской механики, — которую кенигсбергский мыслитель считал величайшей задачей философии и в которой ограниченность его метода нашла себе, пожалуй, наиболее яркое выражение? Зачем, наконец, умалчивать об общем феноменилистически-иллюзионистском характере, который Кант приписывал физической реальности и совершенно опускать проблему агностицизма критической философии? И таких вопросов можно поставить Розенбергеру множество.

Мы уже имели случай указывать, что свою философскую эрудицию Розенбергер заимствует из вторых рук, и притом не всегда достаточно добросовестных. В той трактовке, которую он дает эволюции натурфилософии, это видно со всей ясностью.

Розенбергер находит в своем словаре несколько одобрительных слов по адресу Шеллинга. Он подчеркивает большое значение основной мысли Шеллинга о единстве природы, указывает на связь его умозрений с опытом и т. д. Даже относясь сугубо критически к частным воззрениям Шеллинга, он все же положительно оценивает общие идеи автора «Системы трансцендентального идеализма». Совершенно иначе формулировано отношение к Гегелю. «У Гегеля, — пишет Розенбергер, — существует только один исходный пункт для науки и только один объект исследования — идея. *Природа*, — говорит он в своих «Лекциях по натурфилософии», — *есть идея в форме инобытия, есть отрицательное идеи...* От этих спекулятивных высот или, лучше, от этой игры словами не было моста к природе, и даже понимание естественнонаучного метода не было более возможно отсюда»². Эти слова резюмируют все, что Розенбергер считал нужным сказать о творце диалектического идеализма.

Совершенно верно, конечно, что Гегель считал природу инобытием идеи. Но ведь общеизвестно, что в этом пункте своих воззрений, как и вообще в натурфилософии, он мало чем отличался от Шеллинга. Гегель выступил, в конце концов, систематиком шеллинговых представлений о природе, принимая, как и шеллингианцы, что природа есть «застывшее разумение». Поэтому противопоставление Шеллинга Гегелю в общем для них обоих пункте — идеализме исходных предпосылок — совершенно несостоятельно. Разница между Шеллингом и Гегелем заключалась в том, что первый считал основным органом познания природы интуицию, вдохновение, гениальное прозрение и в связи с этим утверждал, что эзотерическое содержание философии

¹ Стр. 56 настоящей книги.

² Стр. 164—165 настоящей книги.

ПРЕДИСЛОВИЕ 11

природы может быть доступно лишь избранным; второй же, отказавшись от «гениальничания», решительно выдвинул положение, что познание природы есть функция разума и поэтому может быть доступно всем, а не только избранным. Отсюда, из этого различия трактовки органов познания и вытекал тот систематизаторский дух, который пропитывает гегелевскую мысль. То, что у Шеллинга было лишь художественным прозрением и оставалось фрагментом, у Гегеля приняло характер рациональной наукообразной системы. Разумеется, подобная установка Гегеля должна была ярко обнаружить несостоятельность основной идеалистической предпосылки, из которой исходила натурфилософия, ибо все внутренние противоречия ее, бывшие у Шеллинга в скрытой и неразвитой форме, у Гегеля развернулись *explicite* во всех деталях.

Основная мысль гегелевской натурфилософии заключается, в конце концов, в том, что ключ к пониманию всех явлений природы следует искать в логике. Логика играла в естественнонаучных построениях Гегеля совершенно такую же роль, какую, например, механика играла у картезианцев, «невесомые жидкости» у ньютонианцев и т. д. За эмпирическим естествознанием Гегель оставил лишь задачу отыскания *законов* и в этом пункте, сколь это ни казалось бы странным, приближался к Канту и позитивизму. Но *объяснение* законов он стремился найти в логике, которая имела у него совершенно объективный характер. Поэтому для Гегеля характерна искусственность его натурфилософских конструкций и идеализм, бьющий из каждого его анализа. Но величие мысли Гегеля заключалось в том, что им одновременно была произведена радикальная перестройка логики, создана диалектическая логика, исходя из которой, Гегель с большой решительностью стремился показать несостоятельность методологической базы современной ему науки о природе.

Опираясь на свой диалектический метод, Гегель отверг учение о невесомых жидкостях, «скрытых» состояниях и т. п. примитивных метафизических концепциях, царивших в его время в физике. Разрабатывая монистическую картину природы, он естественно приходил к утверждению существования переходов одних форм движения в другие при сохранении специфичности каждой из них по отношению к другим и рассматривал всю природу как нечто единое и цельное. Сколь ни были подчас фантастичны и произвольны отдельные детали его конструкций, общие идеи, одушевлявшие его систему, были глубоки, ценны и величественны. Влияние, оказанное ими, отнюдь нельзя недооценивать. Из физиков достаточно указать на Эрстеда и особенно на Р. Майера, находившихся под сильным воздействием шеллингианско-гегелианских идей, чтобы понять историческую роль натурфилософии. Но особенно большое значение имела натурфилософия для развития биологии (Окен, Тревиранус, Эзенбек, Карус, Мюллер, Вирхов, Нэгели, Геккель и др.). Поэтому Энгельс и писал, что «гораздо легче с тупоумной посредственностью...

бранить старую натурфилософию, чем оценить ее историческое значение. В ней много нелепостей и сумасбродства, однако, не больше, чем в современных нефилософских теориях эмпирических естествоиспытателей; а рядом с этим она содержит и много серьезного и разумного, как это стали признавать со времени распространения теории развития... Что касается Гегеля, то он во многих отношениях стоял гораздо выше своих современников-эмпириков, объяснявших все непонятные явления тем, что в основу их клали какую-нибудь силу — движущую, плавательную, электрическую, силу сопротивления и т. д. — или, где это не подходило, какое-нибудь неизвестное вещество — световое, тепловое, электрическое и т. п.... Отношение натурфилософов к сознательно диалектическому естествознанию такое же, как и отношение утопистов к современному коммунизму»¹. Эти слова прекрасно определяют место натурфилософии в общем контексте развития науки с XIX века.

Розенбергер довольно подробно излагает в своей книге воззрения Гете на оптические явления и гетевскую теорию цветов. Он находит известное оправдание этой теории в недостатках эмиссионной концепции. В том внимании, которое оказывает Розенбергер Гете, лишний раз проявляется, как несправедливо относится он к Гегелю. Гетевская теория цветов историческими своими корнями уходит, в конце концов, к Аристотелю и является своеобразной фантазией, не оказавшей на развитие науки никакого влияния. Немецкий физик Вин очень удачно охарактеризовал ее как чисто художественное построение. «Не удивительно, — писал он, — что противоположность между физической точкой зрения и точкой зрения психолога и художника выразилась в борьбе Гете против ньютоновской теории цветов. Гете... допускал только непосредственные ощущения. Ему чужды были абстрактные принципы физики, выводящие чувственные ощущения как результат действия неизменных законов природы, иногда только после длительного и трудного пути. Поэтому теория цветов Гете не могла оказать никакого влияния на развитие физики, как ни ценно ее изложение для того, кто все сводит к непосредственным ощущениям»².

Гегель в своей натурфилософии Целиком стоял на почве этой теории Гете, и переписка между Гете и Гегелем свидетельствует о том, с каким большим интересом относился философ к развитию идей своего друга-поэта. Если, по мнению Розенбергера, Гегель только и занимался тем, что третирует опыт, то факт защиты Гегелем теории цветов Гете должен показаться совершенно необъяснимым. Ошибка Розенбергера на этом частном примере проявляется исключительно ярко, ибо гетевская теория цветов есть как раз проявление самого чистейшего эмпиризма. Очень интересно привести мнение Энгельса о гегелевской теории цветов

¹ Энгельс, Анти-Дюринг, стр. 7, изд. 1928 г.

² Вин, Новейшее развитие физики, 1922.

ПРЕДИСЛОВИЕ 13

(как мы уже знаем, взятой немецким мыслителем от Гете). «Гегель построил, — говорит Энгельс, — теорию света и цветов из голых мыслей и при этом впал в грубейшую эмпирию доморощенного филистерского опыта, хотя, впрочем, с известным основанием, так как пункт этот тогда еще не был выяснен...»¹. Мы видим из этих слов, что Энгельс приписывает Гегелю ошибки как раз диаметрально противоположного характера, чем те, которые усматривал у творца диалектического идеализма Розенбергер.

Неправильная оценка натурфилософии является одной из главнейших ошибок Розенбергера, допущенных им в настоящем томе. Остальные ошибочные суждения его носят частный характер, и мы только упоминаем о них.

Розенбергер несколько раз утверждает, что Великая французская революция оказала неблагоприятное влияние на развитие научных исследований. Эта оценка совершенно не соответствует истине. Объективные исторические факты свидетельствуют как раз об обратном. Реорганизация системы народного образования во Франции, явившаяся результатом революции (создание Политехнической и Нормальной школ), дала мощный импульс развитию естественных и математических наук. Лагранж, собиравшийся уже на покой, будучи привлечен к преподаванию в Политехнической школе, дал два своих шедевра: «Теория аналитических функций» и «Решение численных уравнений». Монж основал блестящую школу геометров и разработал множество идей, относящихся к теории поверхностей, приложениям анализа к геометрии и т. д. Лазарь Карно создал «Геометрию положения» и теорию трансверсалий. На сцену быстро и с блеском выступила целая плеяда учеников Политехнической школы — математиков, среди которых в первую голову следует указать на Пуассона и Пуансо. Лаплас написал свои крупнейшие произведения именно в эпоху революционных войн. Деламбр произвел свои измерения меридиана и создал метрическую систему мер по прямому заданию правительства. С 1800 гг. начали свою деятельность воспитанники Политехнической же школы Малюс, Био, Френель, Каньяр де-Латур, Гей-Люссак, Араго, Пти, Беккерель и др. Выступила с блеском школа французских химиков: Фуркруа, Шапталь, Воклен, Тенар и т. д. Все эти факты говорят за себя.

Разумеется, революционные войны сильно затрудняли интернациональное общение ученых. Это приводило к тому, что, например, французские и английские химики работали независимо друг от друга над одними и теми же проблемами и делали одновременно одни и те же открытия. Разумеется, политические бури должны были часто отвлекать ученых от их специальных работ и заставлять их обращаться в общественных деятелей и политиков. Но, с другой стороны, огромные задачи, стоявшие перед Францией, сбросившей оковы старого режима, прищипывали специально исследовательскую энергию ученых. Крупнейшие

¹ „Архив Маркса и Энгельса“, т. II, стр. 205.

работники Политехнической школы Монж и др. в своих научных произведениях совершенно ясно указывали, что их исследования вызваны потребностью разрешения тех сложнейших проблем, которые стояли перед революционной Францией. Одна только континентальная блокада способна была вызвать бурное развитие французской химической промышленности и дать огромный импульс теоретическим исследованиям в области химии. Этим и объясняется, например, утверждение ле-Шателье, что в конце XVIII века «французская Академия наук была в центре всех промышленных изысканий. Все появлявшиеся новые машины, все методы производства обсуждались в ней, и доклады о каждом новом изобретении являлись почти главным занятием академиков»¹. Не следует много говорить о том, что все практические задачи Академии наук теснейшим образом были связаны с разработкой теоретических вопросов.

Ошибочным мы считаем также то обстоятельство, что Розенбергер не включил в свою книгу основательного изложения атомистики Дальтона. Немецкий историк руководился при этом теми соображениями, что теория Дальтона возникла на почве химии. Эти мотивы нам кажутся неубедительными. Ведь счел же необходимым Розенбергер остановиться на изложении истории открытия газовых законов Гей-Люссаком и Дальтоном, на изложении электрохимических исследований Гей-Люссака, Деви и др. Обойтись без анализа этих исследований, относящихся к пограничной области химии и физики, при изложении истории физики невозможно. Но атомистика Дальтона по своему принципиальному содержанию относится к такой же пограничной области. Кроме того, влияние химической атомистики на развитие последующих физических представлений было весьма велико.

Оставляя без внимания целый ряд других мелких дефектов книги, мы укажем в заключение на некоторые фактические пробелы, допущенные немецким историком, разумеется, останавливаясь лишь на наиболее существенных фактах.

Излагая историю практической аэростатики, Розенбергер не упоминает, что первый воздушный шар, надутый светильным газом, был пущен в 1783 г. Минкелерсом. В этом же году Пилатр де-Розье и Дарланд осуществили первый подъем на монгольфьере; до этого в виде опыта на воздух поднимали только животных. Первый подъем с исключительно научной целью был осуществлен в следующем году Джеффрисом и Бланшаром. Исследователи поднялись на высоту 2740 метров и произвели тщательные измерения температуры на различных высотах. Через двадцать лет подобный полет был повторен Гей-Люссаком и Био. Они поднялись на высоту 7376 метров. Ими были произ-

¹ *Ле-Шателье*, Наука и промышленность, стр. 71, М. 1928; ср. с этим утверждением Матьеа, что если Франция одерживала победы, „то только потому, что наука, в частности химия, которая была в ту пору чисто французским созданием, дала средства для этого" („Как побеждала французская революция", стр. 164, 1928).

ПРЕДИСЛОВИЕ 15

ведены измерения температуры и влажности воздуха и взяты его пробы с различных высот. Анализ этих проб, произведенный Гей-Люссаком и Тенаром, показал неверность представлений Дальтона, что в верхних слоях атмосферы воздух имеет иной состав, нежели в нижних.

Что касается теоретического изучения поведения газов, то Розенбергер не упоминает об открытии в 1803 г. Генри закона растворения газов в жидкостях, связывающего растворение с давлением, оказываемым газом на жидкость, и об измерениях плотности газов Араго и Био. Между прочим, следует упомянуть, что закон Генри был обобщен Нернстом в 1891 г. для случая распределения молекул между жидкой фазой (раствором) и газообразной. Следует также упомянуть, что измерения Араго и Био были проверены в 1820 г. Берцелиусом и Дюлонгом и в 1841 — Дюма и Буссенго и дали величины, очень мало отличающиеся от первоначально установленных. Отсутствует в книге также упоминание об открытии в 1811 г. Авогадро закона, что одинаковые количества вещества в газообразном состоянии при одних и тех же условиях содержат одинаковое количество молекул, и о первом сжижении газов (хлора), осуществленном в 1823 г. Фарадеем, доказавшем, что догма о постоянстве газов неверна и что агрегатное состояние зависит от давления и температуры. Наконец, следовало бы упомянуть об изучении отклонений от закона Бойля и Мариотта, предпринятом Эрстедом и Швендсенем по следам Араго и Дюлонга в 1826 г.

Из фактов, относящихся к истории изучения электричества, опущенных Розенбергером, следует упомянуть следующие. В 1780 г. Лаплас и Лавуазье, намереваясь дать объяснение явлениям электричества, произвели ряд опытов над испарением воды и установили, что водяной пар заряжается положительно, а металлический сосуд, из которого происходит испарение, — отрицательно (эти опыты были повторены Фарадеем в 1843 г.). В 1783 г. Вольта усовершенствовал свой электрофор, превратив его в конденсатор, усовершенствованный в 1847 г. Кольраушем. В 1786 г. Беннет сконструировал чувствительный электроскоп с золотыми листочками и обратил внимание на важность вопроса о проводимости пламени для исследований атмосферного электричества. В 1787 г. независимо от Беннета проводимость пламени установил и Вольта, найдя, что наилучшим способом удаления заряда является проведение кончиком пламени по поверхности заряженного тела. (Более подробно электрические свойства пламени были изучены только Пуйе в 1827 г.) В 1789 г. ван-Труствик и Дейман первые, бесспорно, установили, что вода может быть разложена действием электрического тока, и выдвинули общее положение, что ток способен разлагать сложные вещества. В 1800 г. Фуркруа, Вокелен, Тенар и Гашетт установили, что включенный в цепь тонкий провод из плохого металлического проводника накаляется, и правильно поставили это термическое действие тока в связь с сопротивлением. В 1801 г. Симон скон-

16 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

струировал первый практически пригодный гальваноскоп, основанный на принципе электролитического действия тока. В 1802 г. Гаустер произвел свои работы относительно поляризационного напряжения, послужившие материалом для работ Риттера, в 1803 г. сконструировавшего аккумулятор (о последних Розенбергер упоминает)¹. В том же 1802 г. Никольсон первый заметил световое действие электрического тока (искры при прерывании цепи) и указал на его своеобразные черты, отличающие его от обычной разрядной искры (связь с тепловым действием тока). В 1805 г. Жилло первый предложил использовать электрический ток для взрывания мин с большого расстояния и разработал первые варианты соответствующей аппаратуры. В 1825 г. Нобили, соединив астатическую стрелку Ампера с мультипликатором, сконструировал точный гальванометр. В 1826 г. Беккерель сконструировал дифференциальный гальванометр. В 1827 г. Ом использовал уравнения теплопроводности Фурье для анализа распространения электрического тока и ввел понятие о падении потенциала. В 1830 г. им же были произведены первые измерения электродвижущей силы. Эти измерения были продолжены Фехнером в 1831 г. и Витстоном в 1834 г. Очень точные измерения, подтвердившие закон Ома, были произведены в 1837 г. Пуйе использовавшим свой усовершенствованный гальванометр.

Из фактов, относящихся к развитию акустики, опущенных Розенбергером, следует упомянуть работы Био о скорости звука в твердых телах, произведенные в 1823 г., весьма тщательные измерения скорости звука в воздухе, произведенные в 1825 г. Моллем, Ван Беком и Куйтенброувером с целью проверки измерений Араго и Гумбольдта, и, наконец, работы Витстона, установившего в 1837 г., что тембр звука определяется относительной интенсивностью обертонов. Следует также упомянуть, что первая идея о записи звуковых колебаний, осуществление которой привело в 1859 г. к созданию фонографа, была высказана в 1830 г. Вебером.

В описании истории развития учения о теплоте Розенбергер допускает следующие фактические пробелы. В 1780 г. Лаплас и Лавуазье, сконструировав специальный калориметр, являвшийся дальнейшим развитием метода, предложенного Блэком, измерили удельные теплоемкости целого ряда веществ. В 1782 г. Сикс сконструировал термограф, указывающий максимальную и минимальную температуру для некоторого интервала времени. В 1794 г. Д. Рутерфорд усовершенствовал прибор Сикса, придав ему более удобную форму (для максимальных температур Рутерфорд использовал ртутный, а для минимальных — спиртовой термометр). В 1782 г. Веджвуд, воспользовавшись фактом изменения

¹ Риттеру же принадлежит заслуга создания первого так называемого „сухого столба" (1803 г.). Независимо от Риттера «сухой столб» был построен в 1805 г. и 1806 г. Марио и Беренсом. Так как известность „сухой столб" приобрел лишь благодаря опытам Замбони (1813 г.), то за ним и установилось название замбониева столба.

ПРЕДИСЛОВИЕ 17

окраски излучения в зависимости от температуры, сконструировал первый пирометр. В 1784 г. Сикс первый обратил внимание на существование невидимого излучения, впоследствии послужившего темой исследований Меллони (1831), Пуйе (1838). Маурера (1887) и др. В 1796 г. И. Т. Майер предложил воспользоваться для определения удельной теплоты временем охлаждения испытуемого вещества. В 1816 г. Дюлонг и Пти сконструировали катетометр для определения коэффициента теплового расширения жидкостей. Воспользовавшись своим прибором, они произвели ряд точных измерений, разошедшихся с результатами Лапласа и Лавуазье, и констатировали, что расширение твердых тел при высоких температурах растет не пропорционально температуре, а быстрее. В 1818 г. Гей-Люссак наблюдал, что при постоянном давлении температура кипящей воды в стеклянном сосуде выше, чем в металлическом. Мунке (1827), Рудберг (1837) и Марсе (1842) подтвердили это, причем Марсе установил, что температура кипящей жидкости зависит от прилипания ее к стенкам сосуда. Тесно к работам по изучению тепловых явлений примыкают измерения упругости пара в зависимости от температуры. В 1792 г. Бетанкур опубликовал серию исследований об упругости сначала водяного пара, а затем (впервые) упругости паров спиртов. Более точные измерения упругости водяного пара были произведены в 1816 г. Гей-Люссаком, исходящим из предпосылки, что упругость пара в неравномерно нагретом объеме определяется температурой наименее нагретой части объема. Наконец, весьма тщательные измерения упругости пара были проделаны в 1830 г. Араго и Дюлонгом по заданию Парижской Академии наук. Следует также отметить, что впервые мысль об эквивалентности теплоты и механической работы была высказана в 1790 г. Мишелем Монгольфье.

История исследования явлений магнетизма изложена у Розенбергера несколько сбивчиво. В изложении ее Розенбергер не упоминает следующих фактов. В 1819 г. Ганстен теоретически и экспериментально исследовал действие магнитов друг на друга и вывел общий закон взаимодействия двух магнитов. (Аналогичные выводы были вторично произведены Гауссом в 1833 г.) В 1820 г. Араго установил, что железо и сталь вблизи проводника, по которому течет ток, приобретают магнитные свойства. В 1824 г. Савари впервые наблюдал аномальное намагничивание стальной иглой при электрическом разряде (лейденская банка). В 1825 г. Купфер установил, что магнитные свойства мягкого железа ухудшаются при нагревании.

Несмотря на довольно подробное изложение эволюции оптики в начале XIX века, Розенбергер опускает в своем очерке ряд существенных фактов, относящихся главным образом к истории развития оптической аппаратуры. Перечислим важнейшие из этих опущенных фактов. В 1801 г. Юнг сконструировал первый оптометр. В этом же году Риттер, изучая действие света на хлористое серебро, открыл ультрафиолетовые лучи. В 1802 г. Волла-

18 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

стон разработал метод измерения показателя преломления твердых тел, состоящий в измерении полного отражения получаемого от испытуемого тела, связанного с призмой, показатель преломления которой известен. В 1804 г. Уолластон нашел, что менискообразная форма очковых стекол является наивыгоднейшей с точки зрения величины поля зрения. В 1812 г. принцип мениска был перенесен им на объективы проекционных аппаратов. В том же 1804 г. Лесли впервые попытался сравнить излучательные способности различных тел. (Более точные опыты по этому же вопросу были произведены Меллони в 1835 г., Кноблаухом в 1847 г., Магнусом в 1848 г. Работы трех последних исследователей послужили отправным материалом для исследований Рентгена, относящихся к 1881 г.) В 1804—1805 гг. Уолластон открыл явление дихроизма при прохождении света через одноосные кристаллы (соли палладия). В 1806 г. Араго и Био произвели измерения показателя преломления у различных газов и установили общий закон преломления для газовых смесей. Через двадцать лет Дюлонг внес ряд поправок в результаты, полученные им, хотя определение показателя преломления атмосферного воздуха Делабром, произведенное в этом же 1806 г. астрономическим путем, подтвердило общие соображения Араго и Био. В 1811 г. Араго обнаружил, что кварц обладает оптическими свойствами, отличными от свойств других одноосных кристаллов. [Объяснение этого явления (круговая поляризация) дано было Био в 1817 г.]. В 1812 г. Берар открыл поляризацию тепловых лучей и тем подкрепил гипотезу, высказанную Юнгом в 1807 г., что свет и лучистая теплота отличаются друг от друга только частотой колебаний. В 1813 г. Уолластон (одновременно с Брюстером, о котором Розенбергер упоминает) наблюдал цветные кольца от поляризованного света. В этом же году Зеебек открыл поляризующие свойства турмалина (в 1814 г. это подтвердил Био). В 1817 г. Брюстер установил, что оптимальные условия поляризации при отражении имеются тогда, когда отраженный луч перпендикулярен к падающему. Одновременно им были наблюдаемы явления плеохроизма в одноосных кристаллических системах. В 1818 г. Био и Зеебек произвели исследования многих веществ с точки зрения их поляризационных свойств и установили, что вещества, не вращающие обычно плоскости поляризации, при некоторых условиях начинают ее вращать. В 1819 г. Брюстер установил существование оптически одноосных и двуосных кристаллов и показал принадлежность первых к квадратичным и гексагональным системам, а вторых — к ромбическим и клиническим. В 1821 г., исследуя взаимодействие магнитов и токов, Деви первый открыл некоторые магнитооптические явления, а Эрстед впервые высказал мысль, что свет представляет собою какое-то электромагнитное явление. В 1826 г. Нобили наблюдал цветные кольца на электрически изолированных пластинках металла, возникающие благодаря интерференции. В 1827 г. Марк сконструировал простейший поляризационный ап-

ПРЕДИСЛОВИЕ 19

парат. В 1828 г. Гершель исследовал явление сферической аберрации, а в следующем году Мебиус развил теорию ахроматизма. Работы эти были продолжены Гауссом и Бесселем в 1840 г. Наконец, в 1838 г. Беккерель сконструировал первый точный фотометр (который он назвал фотоэлектрическим элементом). Мы не перечисляем при этом многочисленных работ Фраунгофера, который, начиная с 1814 г., систематически работал над усовершенствованием оптических приборов, и исследования которого относительно линз и объективов значительно двинули оптическую технику вперед.

Из остальных фактов, не указанных Розенбергером, фактов, относящихся к различным областям физических исследований, мы упомянем следующие. В 1787 г. Никольсон сконструировал весовой ареометр. В 1786 г. Кулон попытался экспериментальным путем измерить трение жидкости по затуханию движущегося в ней маятника и определить зависимость трения от скорости. (Этот метод, с некоторыми модификациями, был использован для той же цели Морицем в 1847 г. и Гельмгольцем в 1860.) В 1803 г. Дальтон формулировал закон постоянства состава, объяснение которого (вместе с законом кратных отношений) привело его в 1808 г. к атомистической гипотезе. В 1805 г. Юнг заложил основы современной теории капиллярности, сведя явление капиллярности к силам поверхностного натяжения. В 1807 г. им же при экспериментальном изучении явлений упругости было введено понятие о модуле упругости. К 1815 г. относится гипотеза Проута о том, что водород является первичным веществом, служащим материалом для атомов других элементов. В 1822 г. Лаплас пытался измерить скорость распространения гравитационных действий и пришел к выводу, что она превосходит скорость света минимум в 50 миллионов раз. В 1827 г. Броун открыл движение взвешенных в жидкости маленьких частиц, обусловленное движением молекул жидкости. В этом же году Каньяр де-Латур определил коэффициент поперечного сжатия некоторых металлов при их растяжении (изучая изменение объема растягиваемой проволоки). (Более точные измерения этого коэффициента были сделаны в 1848 г. Вертгеймом и в 1853 г. Кирхгофом). В том же 1827 г. Гершель установил, что по спектральным линиям может быть установлено присутствие в пламени частиц различных веществ. В 1833 г. Гаусс предложил свою «абсолютную систему мер» и начал вместе с Вебером серию тонких магнитометрических работ (часть которых упомянута Розенбергером). Наконец, в 1835 г. Вебером было установлено существование явления упругого последствия.

В заключение несколько слов о развитии механики в начале XIX века. Розенбергер останавливается на истории механических исследований довольно бегло и опускает ряд существенных фактов. В частности содержание теории Гамильтона и Якоби изложено у него не в том аспекте, который интересует современного физика, подходящего к классической механике как к частному

20 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

случаю какой-то более общей системы связей между физическими объектами и процессами. Из главнейших, опущенных немецким историком, фактов развития механики упомянем следующие. В 1804 г. Пуансо ввел в механику понятие «пары сил». В 1821 г. Навье значительно расширил теорию упругости и развил весьма общие дифференциальные уравнения равновесия и колебания упругих тел. Через два года им же был впервые применен закон сохранения живых сил к решению различных проблем гидравлики. В 1826 г. Кориолис (вместе с Понселе) ввел в механику понятие «работы» и в 1829 г. установил понятие о сложном центростремительном ускорении («сила Кориолиса»). Наконец, в 1834 г. Ампер предложил новое разделение материала механики и строго очертил введенное им понятие «кинематики». Розенбергер приводит в своей книге некоторые факты из истории развития электротехники. Указания эти довольно случайны и не отражают действительного хода развития технических приложений электричества. Особенно сбивчивы и случайны ссылки Розенбергера на историю электрогенератора. Не собираясь восполнять в этом пункте изложение Розенбергера и исправлять его (мы и без того наскучили читателю своим перечнем опущенных немецким историком фактов), мы просто отошлем читателя к недавно вышедшей книге, изданной Институтом истории науки и техники, *«Динамомашина в ее историческом развитии»*. Книга эта представляет собою ценнейший справочник, содержащий в себе почти все важнейшие документы, относящиеся к истории электрогенератора, начиная с 1831 по 1886 г.

С. Васильев.

IV. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ СТО ЛЕТ

(приблизительно от 1780 до 1880 г.)

Господствующее воззрение на сущность силы являлось во все времена истинным руководящим началом в развитии физики. С самого возникновения науки и до наших дней представление о действии силы давало решающее направление работам физиков, хотя влияние это и не везде выступает с одинаковой ясностью. *Древние видели в силах природы естественные свойства различных тел, различного рода склонности или необходимости к определенным действиям или движениям, которыми природа наделила отдельные вещества.* Такой наивный антропоморфический взгляд был систематически развит Аристотелем и, начиная с его эпохи, он преобладал в науке до возникновения физики нового времени. К совершенному разрыву с ним физики пришли только со времени Декарта, который для материи в состоянии движения не допускал других свойств кроме протяжения и косности и положительно отрицал существование в самой материи какого бы то ни было стремления или побуждения к движению. Для Декарта не существовало какой-либо *другой силы кроме силы удара*, свойственной движущимся телам, для него не существовало какой-либо *иной естественной причины движения кроме самого же движения.*

Великий механик Ньютон не мог, однако, согласиться с декартовским объяснением всех естественных движений на основе простых вихреобразных движений. По его мнению, законы движений небесных тел прямо противоречили движениям, положенным Декартом в основание своих выводов. Поэтому он не только признал картезианские вихри невозможными, но и вообще оставил открытым вопрос о том, *обусловлено ли всеобщее тяготение, наблюдаемое в движении тел небесных, а равно и земных, предшествующими движениями или же оно составляет основное свойство материи.* Ученики его устранили указанную неопределенность, провозгласив, с молчаливого согласия своего учителя, *тяготение первичной силой и вновь приписав всей материи вообще притягательную силу как естественное ее свойство.* Это коренное изменение повело к дальнейшим новообразованиям. Ньютон выступил прямым противником Декарта лишь в области механики и, прежде всего в области небесной механики. В других отделах физики, например в учении об электричестве и магнетизме, он зачастую придерживался декартовских взглядов. Однако в дальнейшем, с ростом влияния ньютоновской школы, пришлось отка-

22 ПЕРИОД «ФИЗИКИ НЕВЕСОМЫХ МАТЕРИЙ»

заться от последних остатков прежнего учения, но вместе с тем здесь пришлось наткнуться на новые затруднения. Допуская, что каждое движение способно переходить во всякое другое, Декарт, конечно, мог легко выводить все физические движения из какого-нибудь единого движения. Последователям же Ньютона для объяснения различных физических явлений потребовалось допущение разнородных сил притяжения и давления. Эти разнородные силы не могли уже быть отнесены к первичным свойствам обыкновенной видимой материи, так как по отношению к последней они оказывались изменчивыми, меняясь как количественно, так и качественно. Единственным выходом из этого положения было *допущение существования особых материй для разнообразных притягательных и отталкивательных сил, причем каждую материю пришлось наделить особой силой как первичным ее свойством* и способностью соединяться и разделяться, взаимно связываться и распадаться. Таким образом, *наряду с видимой, осязаемой, оформленной материей были получены еще и другие первичные вещества, как: электрические и магнитные жидкости, световое и тепловое вещества, обладающие этими свойствами в слабой степени или вовсе лишенные их*. Отношение всех этих материй между собою оставалось неясным; только их отношение к всеобщему тяготению было определено с некоторой точностью. Когда в последние десятилетия прошлого столетия¹ химики стали все чаще обращаться к весам как к основному своему прибору, то физики пришли к убеждению, что упомянутые *гипотетические материи ни в каком случае не могут быть весомыми*. Таким образом, материи сами собою распались на две большие группы: первую составляла обыкновенная осязаемая материя, основным свойством которой является одна только тяжесть; вторая группа заключала в себе материи невесомые, которым были присущи способность светить или нагревать, силы магнитные и электрические. Полная разработка этой системы была завершена ранее конца прошлого столетия; вплоть до *второго десятилетия* нашего века реальность невесомых считалась столь достоверной, что физики, за немногими исключениями, были настолько же твердо убеждены в материальности тепла и света, как и в существовании самой весомой материи. Поэтому первый период физики нашего столетия² будет вполне уместно назвать *периодом невесомых*.

Мирозозерцание этого периода развивалось исключительно из ньютоновского учения без участия в этом какого-либо выдающегося ума, способного создать эпоху. Естественно было, поэтому приписывать всю тогдашнюю науку одному учителю и продол-

¹ „Прошрое столетие" — XVIII век.

Здесь, как и в *аналогичных* дальнейших местах текста, читатель должен принять во внимание, что книга Розенбергера впервые вышла в свет на немецком языке в 1887 г. *Прим. ред.*

² „Наше столетие" — XIX век.

См. предыдущее примечание. *Прим. ред.*

ГОСПОДСТВО ФИЗИКИ НЬЮТОНА И ЕЕ ЗАТРУДНЕНИЯ 23

жать считать Ньютона основателем единственно верной, единственно возможной физики. Достаточно было обвинить какую-либо теорию в склонности к картезианству, чтобы уронить ее во мнении тогдашних ученых. Все они еще готовы были подписаться под восторженным вступлением, которое Мушенбрёк в 1731 г. предпослал своему переводу «*Saggi naturali esperienze*»: «Так как прошло более 60 лет со времени первого издания предлагаемого сочинения, то наука должна была сделать значительные успехи, в особенности с тех пор, как верховный и всемогущий руководитель человеческих судеб в бесконечной любви и заботе о смертных не пожелал оставлять долее умы людей под гнетом мрака и как небесный дар ниспослал им британского оракула, Исаака Ньютона. Применяя возвышенный математический метод к тончайшим опытам, и подтверждая все свои выводы геометрическими доказательствами, Ньютон указал путь к сокровеннейшим тайнам природы и достижению истинной, твердо обоснованной науки. Этот философ, одаренный божественной проницательностью, совершил больше, чем все наиболее изобретательные умы, вместе взятые, с самого начала человеческой мудрости. *Все гипотезы теперь изгнаны.* Знание наше расширено основательнейшим учением и обращено на пользу человечества выдающимися учеными, следующими *истинному методу*».

Тем не менее, против отдельных пунктов господствующей системы начали уже в этот период возражать некоторые весьма выдающиеся физики: их указания могли бы породить серьезные затруднения для так называемой ньютоновской физики, если бы большинство не оставалось к ним совершенно равнодушным. Твердо высказанное убеждение Румфорда, Дэви, Юнга о несостоятельности материальной теории теплоты и их доказательные опыты никем не были опровергнуты, но тем легче были забыты. *Возражения Юнга против теории истечения света* не могли проложить себе пути вследствие некоторых слабых сторон в основных их положениях. *Кантовские метафизические начала естествознания*, относившиеся только к строению материи, казались скорее благоприятными, нежели враждебными господствующим взглядам. Обоснование того положения, что *невесомой может быть только одна материя — всепроникающий эфир* — осталось вплоть до наших дней скрытым в посмертных рукописях Канта.

Френель, опровергший господствующую теорию света, *первый* пробил брешь в крепко сплоченном здании так называемой ньютоновской системы и тем самым подорвал прочность целого. Он начал свои оптические работы возражением против считавшегося до тех пор непогрешимым владыки физики. При всей признанности заслуг Ньютона в области теории тяготения его не следует считать непогрешимым во всех случаях. Его теория истечения света прямо противоречит фактам, и потому Френель решился утверждать, что в ньютоновской оптике встречаются ошибки, которых можно было бы избежать без большого труда. *В своей волновой теории света Френель и по методу и в принци-*

24 КРАХ ТЕОРИЙ НЕВЕСОМЫХ

пиальном отношении пошел дальше Ньютона и его физических начал. Он впервые после Декарта вновь объяснил множество физических явлений не в ньютоновском духе, т. е. не особыми свойствами материи, а в картезианском — особыми движениями ее. Но так как эти объяснения ограничивались только одной областью явлений, то современники Френеля не оценили принципиальной важности этого шага и для спасения своих невесомых сочли нужным наделить их сверх обычных свойств еще особыми движениями. Невозможность *отстоять невесомые* выяснилась лишь постепенно, по мере того, как из всех физических исследований все ярче и ярче стал выступать новый принцип, а именно — *идея превращения силы*. Особенно настойчиво приводили к этой новой идее поразительно быстрые успехи наших знаний в области электричества. Уже в самом начале нашего столетия химические действия электричества наводили на мысль о *полном тождестве электрических и химических сил*. Но так как химические средства все еще оставались неясными для физиков с точки зрения их отношения к невесомым, то этот вопрос мало отразился на физике вообще. *Световые явления электрических разрядов* пробовали сначала объяснить соединением электрических жидкостей со световым веществом, но затем, молча, отступились от такого воззрения. Неограниченное по количеству *выделение тепла гальваническим током* оставалось для тогдашней физики неразрешимой загадкой, которой, однако, по возможности старались избегать. *Все упомянутые явления получили иной смысл лишь после того, как в 1820 г. в электрических токах были открыты и магнитные силы*, и при посредстве электричества стали получать более сильные магнитные действия, чем при посредстве простых магнитов. *Тотчас после открытия электромагнетизма Ампер исключил из разряда невесомых магнитные жидкости*; и, хотя многим физикам это показалось подозрительным отклонением в сторону картезианства, они, тем не менее, были вскоре вынуждены сдаться. Эта уступка оказалась смертным приговором и для прочих невесомых. Действительно, поскольку выяснилось, что все силы природы *способны во всякое время и в любом количестве превращаться одна в другую*, то, очевидно, они не могут быть, в конечном счете, связаны с неизменяемыми элементарными веществами. *Невесомым оставалось, поэтому либо совершенно изменить свой характер, либо сойти со сцены*. Однако последнее происходило лишь с большой постепенностью, и, строго говоря, *процесс этот даже в наши дни еще не вполне закончен*. Невесомые с их основными силами представляли весьма удобное объяснение для различных явлений природы: признать их несостоятельность было гораздо легче, чем найти удовлетворительную замену для них. Вот почему их открыто покидали лишь постольку, поскольку к этому бывали вынуждаемы объективными условиями, и придерживались их, под покровом общего молчаливого согласия, сколько могли. *Общее внимание и общая деятельность физиков обратились теперь к новому вопросу — к исследованию возможности и действительности*

ПЕРИОД ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 25

всестороннего и взаимного превращения сил природы вообще, а равно и в частных и специальных случаях. Электричество оказалось при этом наилучшим посредником и при его помощи к началу сороковых годов ¹ удалось уже доказать в общем и целом неограниченную превратимость всех сил природы вообще. Поэтому мы видим здесь завершение второго периода новейшей физики, который всего правильнее будет назвать *периодом превращения сил*.

Но здесь перед физиками возникла новая проблема. Если все силы природы действительно способны взаимно переходить одна в другую, то прежде чем сделать отсюда теоретически казавшееся необходимым заключение о единстве всех сил природы, следовало еще доказать с математической точностью, что при всех этих превращениях количество сил остается всегда неизменным, что ни при каком превращении какая бы то ни было часть силы не может исчезнуть, возникнуть или быть полученной из ничего. *Понятие о превращении силы естественно приводило к закону сохранения силы.* Разработке, проверке, всестороннему приложению этого закона было посвящено все следующее двадцатилетие, которому мы, поэтому имеем бесспорное право присвоить название *периода закона сохранения силы*.

После того как закон сохранения силы был признан во всех частях физики, и его согласие с наблюдением было вполне доказано, возникла потребность в более полном теоретическом его обосновании. *Чем больше склонялись к тому, чтобы проверить все физические теории упомянутым законом, тем более возрастала потребность в том, чтобы исследовать его отношение к господствующим основным понятиям о материи и силе и придать последним форму, соответствующую этому закону.* Уже для основоположников закона сохранения силы было ясно, что понятия о живых силах движущихся тел и о силах как основных свойствах определенных материй абсолютно не могут существовать в прежнем их виде. *Живая сила движущегося тела есть определенная конечная величина, которая в соответствии с характером движения может увеличиваться, уменьшаться и быть низведенной до нуля. Сила же, в смысле основного свойства материи, количественно не ограничена и не способна к количественному изменению. Закон сохранения силы не может иметь никакого прямого отношения к этим основным свойствам; он тесно связан лишь с теми ограниченными действиями, которые эти свойства способны производить в зависимости от распределения материи в пространстве.* В силу этих соображений было признано уместным оставить название сил лишь за основными свойствами, а для вышеуказанных количественно-ограниченных и определенных возможностей действия принять новое (или, если угодно, и очень старое) название *энергии*.

Это нововведение повлекло за собою гораздо более значительные последствия, чем это обычно бывает при изменении названий. С одной стороны оно мало-помалу *устранило основные свойства*

¹ Т. е. сороковые годы XIX века. Прим. ред.

26 ЕДИНСТВО ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. РОЛЬ НАТУРФИЛОСОФИИ

и наделенные ими материи из круга физических исследований. С другой стороны (так как, в конце концов, всякую энергию можно измерить и определить лишь по тому движению, которое она производит или способна произвести), оно привело к совершенному отрицанию указанных основных свойств и к объяснению всех действий первичными, правда, способными к изменению, но никогда не разрушаемыми движениями единой материи. Этот процесс, который при ближайшем рассмотрении представляется возвратом не специально к картезианским элементам с их вихрями, а к картезианскому воззрению на силу, лежит в основе развития современной нам физики. По своему направлению он составляет резкую противоположность ходу развития физики в предыдущем столетии. Там, где последняя дробила учение на отдельные дисциплины, признавала различные, независимые друг от друга материи и силы, там современная физика объединяет разрозненное и все более приходит к единому учению о материи и силах. *Стремление собрать разрозненное, объединить все части физики в единую науку составляет наиболее выдающуюся черту физики наших дней. Мало того, даже родственные физике науки, химия и астрономия, стали под влиянием новых представлений приближаться большие прежнего к общему корню.* Химия, по крайней мере в принципе, отступает от идеи неизменяемости своих многочисленных основных веществ и *допускает как проблему их происхождение от нескольких и даже от одного первичного вещества.* Астрономия же из небесной механики, до которой постепенно ее низвели со времен Ньютона, *после открытия спектрального анализа в большей, чем когда-либо раньше, степени превращается в астрофизику.* Что касается влияния на новейшую физику *методических факторов — философии, математики и опыта,* то оно проявилось совершенно так же, как и в предыдущем периоде. Экспериментальная физика получила теперь очень широкое развитие, так что довольно долгое время можно было думать, что опыт завоюет исключительное господство в этой науке. Его поразительные успехи в области электричества по временам заставляли забывать о необходимости участия других методических факторов в сфере физического исследования. Правда, натурфилософия снова возродилась в конце прошлого века в лице Канта и благодаря его авторитету нашла выдающихся приверженцев и в среде физиков. Вскоре, однако, несостоятельность как действительных, так и мнимых последователей Канта, выдававших воздушные замки, воздвигаемые ими на основах критической философии, за научные построения, повела к тому, что натурфилософия упала в общем мнении ниже, чем когда-либо раньше. Горькая насмешка, с какой знаменитый химик Берцелиус обратился в 1827 г. к ее представителям: *«современным натурфилософам следовало бы в собственных интересах касаться лишь вопросов, стоящих вне контроля естествоиспытателей»*, является правильным отражением преобладавшей тогда оценки натурфилософии. С этого времени философы начинают отходить от натурфилософии, как от области

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ДЕДУКЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА 27

темной и бесплодной, и лишь одни физики и химики продолжают разрабатывать ее в атомистическом направлении. Впрочем, это их не привело к сближению с философами, так как последние продолжали твердо держаться кантовского представления о непрерывном заполнении пространства материей. Только в новейшее время ¹, когда престиж Канта снова поднялся и в среде физиков появились попытки устранить противоречия или хотя бы доказать возможность их примирения.

Для правильной оценки отношения *математики* к физике необходимо установить строгое различие между математиками, разрабатывающими математически *одну лишь количественную сторону* явлений, и теми, которые стремятся *математически выводить самые явления из простых основных положений*. Первого рода работу и экспериментальные физики всегда считали одной из обязательных своих задач, признавая огромное значение определения количественных отношений даже при простом описании природы. Впрочем, интерес к измерительным работам в среде экспериментальных физиков с течением времени подвергался изменениям. Так, например, пока электрические явления были еще новы, и прямое наблюдение продолжало открывать все новые и новые факты в этой области, физики охотно ограничивались одним качественным исследованием явлений. Но когда сфера наблюдений достаточно расширилась, в их сознании возникла и укрепилась потребность количественного определения электрических явлений. *Однако наиболее мощным рычагом для всестороннего развития математической измерительной физики послужил, начиная с половины нашего столетия, закон сохранения сил.*

Физики-экспериментаторы охотно исключают из сферы своей работы *математическую дедукцию* и нередко смотрят на нее с тем же недоверием и недоброжелательством, как и на отвергнутую натурфилософию. Тем не менее, между нею и физическим измерением существует тесная и непрерывная взаимная связь. С одной стороны, физическое измерение требует известных теоретико-математических основ как для установления правильной системы единиц измерения, так и для точного ограничения подлежащих измерению физических действий, и только этим путем оно способно прийти к разрешению своих задач. Убедительным примером этого может послужить развитие учения об электричестве после установления закона Ома и развития правильной системы электрических измерений. С другой стороны, применение математической дедукции предполагает наличие точных количественных наблюдений, которые и служат средством для проверки выводов, полученных путем дедукции. *Для подтверждения сказанного сошлемся на два наиболее совершенных и показательных достижения математической дедукции — на теорию всемирного тяготения в прошлом веке и на развитие волновой теории света в настоящем столетии.*

Обе эти теории могут быть нами смело выставлены в качестве

¹ „Новейшее время" — конец XIX века. *Прим. ред.*

28 ИНДУКЦИЯ И ДЕДУКЦИЯ

убедительнейших свидетельств против эмпириков, склонных по примеру Бэкона признавать индукцию единственным естественнонаучным методом. Тиндаль обращается к этим физикам, стремящимся в настоящее время восстановить такое направление в Англии, со следующими словами, полными *общего значения*: «Фарадея называли исследователем исключительно индуктивным. Боюсь, если вы позволите мне так выразиться, что в нашей доброй, старой Англии *плетется не мало вздора по поводу индуктивного и дедуктивного методов*. Многие стоят за индукцию. Другие высказываются за дедукцию. В действительности же задача, выполняемая таким ученым, как Фарадей, заключается в постоянном соединении обоих этих методов исследования». Во всех областях физики имеется, во всяком случае, одно определенное место для дедукции, — а именно там, где она вынуждена создавать недоступные для проверки *непосредственным опытом* гипотезы о сущности явлений. Во всех тех случаях, когда от разнообразия явлений желают придти к причинам, обуславливающим и связующим это многообразие, это может быть осуществлено только с помощью гипотез, правильность которых может быть доказана всего лучше или даже исключительно теми выводами, которые получены из гипотезы при помощи правильной математической дедукции. Этот метод исследования, который, исходя из гипотезы, при помощи опыта проверяет результаты, полученные из гипотезы путем дедукции, может быть нами назван *гипотетически-дедуктивным* в отличие от иного метода, исходящего из аксиом и не требующего проверки своих результатов. Этот последний метод познания, применяемый чистой математикой, на который зачастую заявляет притязание и философия, мы назовем *аксиомо-дедуктивным*. Первый составляет идеал физики; в нем соединяются все три специальных метода этой науки: экспериментальный, математический и философский. Опыт дает основания для гипотез. Создание последних — не столь свободное, как думают некоторые, — зависит от теоретико-познавательных условий, от основных философских воззрений на силу и материю. Дедукция явлений из гипотез — это дело математики по преимуществу. Но при проверке явлений в свои права снова вступает опыт. *Опыт составляет, таким образом, альфу и омегу всего процесса познания природы*. Если в начале нашего столетия это положение было оставлено без внимания многими натурфилософами, то, с другой стороны, в середине его многими экспериментальными физиками было упущено из вида, что *простое констатирование фактов не составляет еще науки* и что для научной разработки добытого материала необходимо также участие математики и умозрения. Во всяком случае, в последнее время, с непрерывно возрастающим накоплением огромного эмпирического материала, это положение становится все более ясным. В попытках создания механической теории теплоты, основной теории электричества и магнетизма, в усилиях выработки правильного понятия о силе и материи ясно проявляется стремление снова объединить все методические факторы для дальнейшего научного развития физики. Что эти усилия до

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ 29

сих пор еще не увенчались полным успехом, это объясняется, конечно, прежде всего, обширностью и трудностью самой задачи, а, быть может, еще двумя другими обстоятельствами: с одной стороны, тем, что широкие круги математиков отошли от проблем физики и занялись разработкой новых областей *чистой математики*, которые пока еще далеки от прямой связи с природой; а, с другой — может быть, и тем, что нашему поколению придется еще не мало поработать, чтобы вновь развить в себе умозрительные наклонности и постепенно укрепить способность к созданию теорий. Во всяком случае, неудовлетворенная до сих пор потребность в молекулярной физике, продолжающееся еще и теперь применение электрических жидкостей, в реальность которых, конечно, не верит ни один физик, свидетельствует в пользу того, что *мы стоим не в конце какого-то периода физики, а в середине его, и что продолжительность этого периода пока еще не поддается определению.*

ПЕРВЫЙ ПЕРИОД ФИЗИКИ ПОСЛЕДНЕГО СТОЛЕТИЯ

(приблизительно от 1780 до 1815 г.)

Период невесомых

При вступлении в последнее столетие физики мы встречаемся с двумя значительными натурфилософскими системами: *механической Лесажа и динамической Канта*. Знаменитое хотя и не совсем верное заявление Ньютона «гипотез я не строю» удерживало его учеников в течение почти целого века от всяких натурфилософских умозрений. Но, наконец, и для ньютоновской физики начали возникать трудно преодолимые затруднения, и притом даже в специальной ее области — в механике небесных движений. Уже сам Ньютон приписывал *тяготение не материи в смысле однородного целого, а отдельным частицам ее, атомам*, о сущности которых, как о предмете слишком гипотетическом, он, однако, не распространялся. Но чем точнее стали изучать после него движения небесных тел, тем больше стало выясняться, что *расположение частей тел и их форма* оказывают значительное влияние на самое действие. Вследствие этого приходилось все чаще и чаще принимать во внимание и исследовать внутреннее строение вещества, его однородность, распределение плотностей и масс. В том же направлении стали возникать вопросы и в других отделах физики, в учении о теплоте, акустике и т. д. Настала, таким образом, пора заполнить накопившиеся пробелы, и *в самых широких кругах* возродился интерес к *стародавним вопросам о материи и свойственных ей силах*. Когда в 1801 г. Наполеону на общем приеме был представлен Якоби, император обратился к нему с единственным вопросом: «*Qu'est ce que la matière?*» (Что такое материя?); не получив ответа, он повернулся спиной к озадаченному философу.

Нечто подобное случаю с названным философом представляла собою вообще вся натурфилософия. Ни одна из возникавших систем ее не оказывалась способной удовлетворить быстро накапливавшимся экспериментальным открытиям в области *теплоты, электричества* и т. д. *Учение о невесомых*, представления об особом тепловом и световом веществе, об особых электрических и магнитных жидкостях не укладывалось ни в рамки кантовской натурфилософской системы, ни лезажевской. Натурфилософия вообще не освещала вопроса об *отношении различных материи между собой* — вопроса, возбуждавшего тогда большой интерес. Поэтому уже задолго до конца рассматриваемого периода

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ В ПЕРИОД НЕВЕСОМЫХ 31

физики отвернулись от подобных умозрений, как совершенно бесполезных. Когда же натурфилософское умозрение продолжало вторгаться в их область, становясь все более и более притязательным по мере утраты им опытной почвы под ногами, физики озлобились и начали преследовать его с большим ожесточением.

Уже в самом начале рассматриваемого периода наиболее плодотворной для специальных физиков областью оказалось *учение о теплоте*. *Тепловое вещество признавалось в то время наиболее сильным и всесторонним деятельным началом*. Химик встречался с его действием при всех химических процессах. Метеоролог открывал его действие во всех атмосферных явлениях. Быстрое развитие паровых машин выявило в нем наиболее постоянного, удобного и надежного поставщика силы. Самое *строение тел, агрегатное состояние материи* было поставлено в прямую зависимость от него. К сожалению, все попытки ближайшего определения его *сущности, его родства с другими веществами* оказывались бесплодными, а новейшие опыты получения теплоты от трения не укладывались ни в одну из материальных теорий теплоты. Тем успешнее шли зато определения и измерения действий теплового вещества. *Законы теплового лучеиспускания* были установлены многими учеными при помощи дифференциальных термометров, причем результаты их работ оказались в добром согласии между собою. *Расширение различных газов* от теплоты было исследовано Далтоном и Гей-Люссаком с такой точностью, что они уже могли заявить о *постоянстве этого расширения для всех газов вообще*. Измерение расширения жидкостей привело к установлению *анормального расширения воды*. По странной игре случая измерения *расширения твердых тел*, предпринятые Лавуазье и Лапласом, получили известность и славу лишь спустя долгое время. Развитие *паровых машин* привело в Англии раньше, чем в других странах, к опытному изучению *упругости паров*, преимущественно водяного. В результате подобных опытов Дальтон пришел к своему знаменитому закону, возбуждавшему вначале столько возражений, а именно — к *закону о независимом распространении различных паров в одном и том же пространстве*; а при посредстве этого закона он получил возможность окончательно разрешить давнишний спорный вопрос об *испарении и выпаривании*. Что же касается *теплопроводности тел и законов охлаждения*, то этих процессов не удалось изучить, так как тогда еще не сумели отделить друг от друга разнородные тепловые движения, происходящие при этих явлениях. Опытами Румфорда установлена была только поразительно малая теплопроводность жидкостей. Все упомянутые исследования дали ключ к лучшему пониманию атмосферных явлений и возбудили интерес к *метеорологии*. Осязательным доказательством успехов в этой области служит оживленная работа по конструированию многочисленных *метеорологических приборов*, как то: гигроскопов, максимальных и минимальных термометров и т. д. В область физики осязаемой материи была окончательно включена новая отрасль — *акустика*. Замечательно, что здесь

32 АКУСТИКА, МЕХАНИКА И ОПТИКА В ПЕРИОД НЕВЕСОМЫХ

побочная математическая линия возникла раньше *экспериментальной*. Благодаря счастливому сочетанию быстро развивающегося технического искусства в деле изготовления музыкальных инструментов с гением великих математиков математическая теория струн, труб и т. д. была уже значительно разработана и поднята на большую высоту в прошлом столетии. *Экспериментальная же акустика возникла впервые благодаря трудам Хладни*. Его работы послужили доказательством не только плодотворности опытного исследования в этой области, но и необходимости его для проверки математических выводов, а равно и недостаточности для этой цели случайных практических наблюдений. Наконец, открытие Хладни *звуковых фигур*, возбуждавших в течение некоторого времени восторженное удивление, сулило как будто возможность познания *молекулярного состояния материи*. К сожалению, на деле выяснилось, что этот путь изучения твердых тел является, по меньшей мере, далеким и, во всяком случае, нелегким.

В *механике* в рассматриваемый период не возникает никаких новых точек зрения. Исследование движения неизменных систем точек или твердых тел, начатое в прошлом столетии с таким блестящим успехом, было теперь доведено до конца. Труды великих астромехаников и, прежде всего Лапласа с его знаменитым сочинением «*Traité de mécanique céleste*» (Paris 1799—1825) довели этот отдел до относительного завершения. Область *теоретической механики* вообще разработана Лагранжем, хотя скорее с формальной, нежели с материальной стороны. Но там, где приходилось иметь дело с движением в сфере действия *молекулярных сил*, трудности в большинстве случаев оказывались непреодолимыми как с математической, так и с физической стороны. Даже гениальный Лаплас не мог достичь совершенной ясности в этой области, доказательством чему может служить его *теория волосности*. Наряду с математикомеханическими работами здесь следует упомянуть и о нескольких замечательных *опытных исследованиях*. Так, например, был разрешен вопрос, поднятый уже Ньютоном, *о падении тел на движущейся земле*. Вопреки всякому ожиданию при этом, помимо предположенного Ньютоном *восточного отклонения*, получилось еще и южное, которое лучшие математики, физики и астрономы того времени оказались не в состоянии точно определить, а тем более объяснить. Работы по установлению рациональной *системы мер* и точных *единиц измерения*, разнообразные *определения удельного веса* и вместе с тем *плотности земли* свидетельствуют о непрерывном улучшении методов физических измерений. Устройство остроумных приборов, вроде *гидравлического тарана*, *гидравлического пресса* и т. д., указывает на значительный уровень механического искусства.

Странная судьба постигла *оптику*. Возражения Юнга против теории истечения света, его пропаганда волновой теории, опиравшаяся на *открытие интерференции света*, не могли привести к цели, так как рекомендуемая им волновая теория не удовлетворяла тогда новейшим открытиям, представлявшим собою наиболее

ОПТИКА И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В ПЕРИОД НЕВЕСОМЫХ 33

блестящие, поразительные, но вместе с тем и наиболее запутанные явления во всей оптике. *Поляризация света* при его отражении и преломлении, удивительные явления *двойного преломления света* на прозрачных телах, зависимость их от формы кристаллов, *цветные линии и черные кресты*, наблюдаемые в тонких прозрачных пластинках в поляризованном свете, *вращение плоскости поляризации* различными веществами представляли для волновой теории столько же загадок, сколько было этих открытий. С другой стороны, гениальному Био удалось включить или, вернее, пристроить все эти новинки к почетному старому зданию теории истечения и таким образом окружить последнюю новым блеском. Конечно, пристройки, к которым прибегал Био для этой цели, многочисленные вспомогательные гипотезы, постепенно вводимые в состав теории истечения, сами по себе служили довольно верным указанием несоответствия этой теории существу дела; тем не менее, здание в целом оставалось довольно внушительным, а красота отдельных его частей заставляла забывать о недостатке единства и отсутствии общей гармонии.

Таким образом, развитие этих отделов физики продолжалось еще в научных рамках, завещанных прошлым столетием, и можно сказать, что в названных выше работах не заключалось еще условий, которые заставляли бы выйти из них. Даже *открытие гальванизма* в начале не представляло ничего такого, что не подходило бы к господствовавшему тогда учению. Гальвани в своих работах видел лишь доказательство общего распространения электричества в животном мире, уже ранее в более сильной степени замеченного у некоторых видов рыб. *Вольтова контактная теория* в своем первоначальном виде даже прямо противоречила тем широким воззрениям, которые стремились к обобщению механического принципа сохранения силы. Все то, что в открытии химических и термических действий гальванического электричества было способно будить мысль и дать импульс для дальнейшего развития физики, тормозилось некоторыми внешними обстоятельствами, замедлявшими развитие науки вообще. *После Ньютона в физике сохранилось известное преобладание математического направления.*

Формулирование основных физических законов находилось преимущественно в руках представителей математической физики и великим физикам прошлого и настоящего периода, Лапласу, Лагранжу и др. было нетрудно сохранить перевес за этим направлением. На основе последнего они имели мало поводов стремиться к *переворотам в принципах*, а, может быть, и по своим летам они не могли чувствовать к ним особой склонности. *Физики же экспериментаторы, находя в поразительных успехах эксперимента в области электричества, а равно и оптики, обширное поле для своих работ, вполне удовлетворялись ими.*

Руководящая роль в научном прогрессе на протяжении всего рассматриваемого периода, бесспорно, принадлежит французам. Англичане не раз пытались стать на путь смелого реформатор-

34 БОРЬБА ВОКРУГ АТОМИСТИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

ства, но в большинстве случаев усилия их разбивались о ньютоновские традиции своих соотечественников. Итальянцам удавалось только поддерживать свои исторические права на звание первенствующей нации в области естествознания. Немцы, если оставить в стороне натурфилософов, приносили пользу науке главным образом проверкой, обсуждением, систематизацией чужих трудов; они были скорее посредниками и пропагандистами физических знаний, нежели самостоятельными исследователями. Доказательством сказанного служит число и характер их работ и влияние их на другие нации.

Выдающимися членами русской Академии наук были немцы, а представители скандинавской науки находились, во всяком случае, в тесном общении с Германией. Впрочем, с течением времени начало постепенно устанавливаться научное равновесие между европейскими народами и наука мало-помалу успела приобрести нейтральный международный характер, который, по счастью, она сохранила и до наших дней, вопреки неоднократным стараниям придать ей национальное направление ¹.

НАТУРФИЛОСОФИЯ (приблизительно от 1780 до 1820 г.). В основу своих воззрений на материю Ньютон положил *древнюю атомистику*, которую извлекли из забвения Гассенди и Бойль, причем, однако, он оставил в стороне вопрос о том, в какой мере она должна, быть видоизменена для соответствия ее новым научным воззрениям. Его последователи обращались поэтому с ней вполне произвольно и, по примеру учителя, не приложили никаких усилий для разработки теории атомов, сомнительной в их глазах по своей гипотетичности и по своему философскому характеру. Впервые Боскович сделал попытку органически привить древним атомам новые притягательные и отталкивательные силы и таким путем систематически слить старое с новым.

Противоположную исходную точку зрения избрал Лесаж ², утверждая, что *древняя атомистика может быть согласована с воззрениями Ньютона без введения в нее новых начал и без привлечения сил, принципиально чуждых древнему представлению об атомах*. Мало того, в работе, вышедшей в 1784 г. ³ под заглавием «*Lucrece Newtonien*», он прямо пытался доказать, что при правильной разработке древняя атомистика сама собой должна привести к ньютоновской физике. «Если бы первые эпикурейцы, — говорит Лесаж, — имели относительно космо-

¹ Если бы Розенбергер писал книгу в наши дни, ему бы пришлось констатировать новую грандиозную, осуществляемую государственными средствами, попытку национализировать науку, поставив ее на службу германского фашизма. В этой попытке фашизм докатился до прямой фальсификации науки, до создания псевдонаучных расовых теорий. К какому падению научного развития в Германии привела эта политика — известно всему миру. *Прим. ред.*

² George Louis Lesage родился 13 июня 1724 г., умер 9 ноября 1803 г. в Женеве, жил в Женеве, где преподавал математику. Усерднейший его последователь Р. Prevost издал сочинение „*Traité de physique, redigé d'après les notes de Mr. Lesage*“ (Женева 1818).

³ Nouv. Mém. de l'Acad., Royal 1782, Берлин 1784, стр. 404—432.

ЭФИР КАК ПРИЧИНА ТЯГОТЕНИЯ ПО ЛЕСАЖУ 35

графии такие же здравые понятия, как некоторые из их современников, которых они не дали себе труда выслушать, и если бы, далее, они обладали хоть небольшой долей тех геометрических знаний, которые в то время составляли уже почти общее достояние, они, по всей вероятности, без особого труда *пришли бы к открытию закона всеобщего тяготения и механической причины последнего*. Они нашли бы, следовательно, тот закон, открытие и доказательство которого составляют величайшую славу сильнейшего из когда-либо живших гениев, и ту *причину*, которая долгое время составляла предмет честолюбия знаменитейших физиков, а в настоящее время приводит в отчаяние их преемников».

«При всем предпочтении, которое заслуживают исследования *a posteriori*, не следует отвергать и исследований *a priori*, потому что они в значительной мере могут содействовать успеху первых». *«Я не предлагаю предаваться одним умозрениям только для того, чтобы не быть праздным за недостатком искусства или того рода терпения, которое необходимо для осуществления новых наблюдений и опытов. Напротив, необходимо тщательно ознакомиться со всеми существующими опытами и наблюдениями, относящимися к избранному предмету и всегда иметь их в виду при разработке гипотез. Наконец, следует пользоваться всеми средствами математики для постоянного и тщательного применения первых к последним и для проверки их полного и точного соответствия. Такое соответствие, как лучшая математическая дедукция, способна внушить большинству читателей глубокое доверие к физической теории»*.

«Если бы последователи Эпикура были в такой же мере убеждены в шаровидности Земли, в какой они были склонны считать земную поверхность плоской, они (при своем объяснении вселенной) не приняли бы, что движения атомов параллельны между собой (для объяснения вертикального их падения на поверхность Земли). Напротив, они скорее приписали бы им *отвесное направление к поверхности шара, и в таком случае все атомы двигались бы по направлению к центру, как если бы повсеместно на Земле падал град*».

Против такого толкования эпикурейцев можно было бы, пожалуй, сделать такое *возражение*. Согласно этой теории *часть атомов*, прежде чем достичь Земли, *должна была бы упасть на Луну и толкать последнюю по направлению к нам*. По этой же самой причине тела, лежащие непосредственно под Луной, подвергались бы соответственно меньшему числу толчков со стороны атомов. В результате этого следовало бы наблюдать приближение Луны к Земле и движение части вод океана по направлению к Луне. Но это именно обстоятельство заставило бы эпикурейцев исследовать, не происходит ли в действительности чего-нибудь похожего на указанные умозаключения их противников, и они ответили бы последним: *«удары атомов, правда, не приближают Луны к Земле, но зато (что одно и то же) они препятствуют Луне удалиться от Земли по касательной к ее орбите; периодическое же движение океана по направлению к Луне происходит в действительности именно так, как это требуется согласно теории»*. Но тогда на основе теоремы о центробежной силе, аналогичной теореме, до-

36 ЭФИР КАК ПРИЧИНА ТЯГОТЕНИЯ ПО ЛЕСАЖУ

казанной Гюйгенсом, можно было бы заметить далее: *если бы скорость Луны должна была уравновесить ту самую тяжесть, которая наблюдается на земной поверхности, так чтобы Луна не могла ни удаляться, ни приближаться к Земле, то эта скорость должна была бы быть в 60 раз больше скорости, наблюдаемой в действительности.* Подобный довод эпикурейцы имели бы возможность победоносно опровергнуть: расстояние центра Луны от центра Земли в 60 раз больше расстояния последнего от земной поверхности; следовательно, сферическая поверхность, на которой лежит Луна, в 3600 раз больше земной поверхности; а так как на первую падает не большее число атомов, чем на последнюю, то тяжесть на Луне должна быть в 3600 раз меньше земной; а это именно и есть та тяжесть, которая способна уравновесить действительное движение Луны.

Для объяснения происхождения сложных тел Эпикур был вынужден сообщить *демокритовым* параллельным движениям атомов небольшой наклон. Эта поправка, как известно, навлекла на него много насмешек и нападок со стороны философов других школ. Однако если бы Эпикур принял направление атомов к одному общему для всех центру, то отсюда само собой получилось бы, что на каждый горизонт приходится частицы всех возможных направлений. На замечание, что *все падающие тела все-таки направляются отвесно к горизонту*, он бы легко возразил: «Именно потому, что атомы падают сверху во всех направлениях, удары их должны слагаться в одну *равнодействующую*, направленную по отвесу. Правда, атомы, проникающие снизу сквозь толщу Земли, противодействуют первым; но так как Земля удерживает громадное число их в своей толще, то, не взирая на противодействие проникающих снизу на ее поверхность атомов, получается в общем итоге перевес влияния сверху вниз».

Если бы, далее, эпикурейцы приняли учение о движении Земли, они могли бы подвинуться вперед еще на один шаг, которым и была бы устранена чуждая их системе единая направленность всех движений *к одной неподвижной точке*. Действительно, раз Земля находится в движении, она неизбежно каждое мгновение должна подвергаться новому граду атомов в новом месте своего пути. Постоянство действия тяжести приводит, следовательно, к заключению, что *через каждую точку пространства атомные потоки проходят во всех возможных направлениях*, вследствие чего Земля на всех точках своего пути подвергается совершенно одинаковым влияниям. Наконец, если бы эпикурейцы зашли так далеко, то наиболее вдумчивые из них пошли бы по этому направлению дальше и пришли бы, очевидно, к следующим положениям: 1) Так как всякий атом, проходящий близ центрального тела, нейтрализуется в своем действии другим атомом с противоположным направлением, *то влияние на тяжесть оказывают лишь те атомы, которые обращены прямо к поверхности центрального тела; следовательно, тяжесть должна быть обратно пропорциональна квадрату расстояния тяжелых тел от центрального тела*. 2) Так как вызывающие тяжесть атомы направлены не исключительно к центру тела, а *ко всем его частям вообще*, то они должны толкать встречаемые ими на пути тела не по направлению к небесному телу, как еди-

ЗАКОН СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ТЕЛ ПО ЛЕСАЖУ 37

ному целому, а по направлению отдельных частей его. *Движение к центру тела представляет собою, поэтому не что иное, как результат движения по направлению к отдельным частям его; отсюда тяжесть должна быть пропорциональна числу частей тела, другими словами, она должна быть пропорциональна массе центрального тела.* Из этих двух положений можно было бы, наконец, вывести всю теорию всеобщего тяготения, не упоминая более о самих атомах, обуславливающих тяжесть. Положение же о равенстве действия и противодействия вытекает непосредственно из указанного процесса происхождения всеобщей тяжести. Именно, атомы, толкающие одно тело по направлению к другому, производят это действие лишь потому, что они освобождаются другим телом от действия своих антагонистов; антагонисты же эти, в свою очередь, толкают второе тело по направлению к первому. А так как антагонисты при противоположном направлении обладают равной силой, то рассматриваемое положение доказано.

Далее, Лесаж старается еще точнее определить, до каких пределов эпикурейцы имели возможность прийти в теории всеобщего тяготения, на основании вышеприведенных положений и на основе геометрических познаний своего времени, и каким образом они могли проверить свои выводы наблюдением. После этого он продолжает развивать свою теорию с целью вывести с ее помощью законы падения тел. Удары атомов, движущихся быстрее света, сохраняют для нашего ощущения одну и ту же силу, действуют ли они на тело, падающее в течение 3 или 4 сек., или же на тело, падающее в течение 1 или 2 сек., хотя вообще действие их на тело, уже находящееся в движении, всегда несколько ослаблено. Скорость атомов, равная скорости распространения звука, была бы уже достаточна для того, чтобы сделать незаметным различие ускорений. Именно, скорость звука в 34 раза более скорости падающего тела в конце первой секунды или в 17 раз более скорости его падения в конце второй секунды. Стало быть, при скорости же атомов, равной скорости звука, уменьшение ускорения в конце первой секунды уменьшилось бы на $\frac{1}{34}$, в конце второй секунды на $\frac{2}{34}$, т. е. на величины, не доступные для наших чувств. При скорости атомов, равной скорости света, уменьшение ускорения составляло бы не более $\frac{1}{900\,000}$ части приведенных выше долей. Таким образом, ускорения, испытываемые телом вследствие ударов атомов, повторяющиеся через равные промежутки времени, должны оставаться в равные времена одинаковыми, по крайней мере, на сколько мы в состоянии оценить их нашими чувствами. Отсюда следует пропорциональность приобретенных скоростей истекшим временам, а из последней, в конце концов, вытекают все законы движения падающих тел¹.

Лесаж вполне сознает услугу, оказываемую здесь его гипотезой механике. Он прямо указывает на то, что Галилей и все его последователи вывели закон равномерного возрастания скоростей только

¹ Лесаж замечает по этому поводу, что допущение прямой пропорциональности между временем и скоростью предполагает непрерывное нарастание второй аналогично первому. Это неудобство может быть, однако, устранено, если промежутки времени принять равными промежуткам удара атомов.

38 ТРУДНОСТИ В ТЕОРИИ ЛЕСАЖА

при помощи закона сложения скоростей и что *они могли рассматривать этот закон суммирования только как особую гипотезу*, требующую опытного доказательства; у него же, напротив, постоянство ускорения при падении вытекает непосредственно из основного положения, без участия каких-либо иных гипотез. С другой стороны, он делает самому себе возражение, с которым неизбежно встречается всякий физик, желающий объяснить тяжесть чисто механически: если удары атомов составляют причину тяжести, то вес тел должен быть пропорционален их поверхности или, вернее, их горизонтальной проекции; каким же образом вес этот может находиться в прямом отношении к их массе. *Не должно ли тело, взвешиваемое внутри дома или под крышей, где множество обуславливающих тяжесть атомов задержано кровлей, оказаться более легким, чем при взвешивании его на открытом воздухе?* Но на такие вопросы даже эпикуреец сумел бы уверенно ответить, что атомы проходят сквозь тела так же свободно, как, например, свет сквозь алмаз или магнитная материя сквозь золото. Количество атомов, задерживаемых первыми слоями тяжелого тела, может быть признано совершенно незначашим в сравнении с числом атомов, проникающих через всю его толщу. И, тем не менее, легко понять, что задержанные атомы должны оказывать заметное действие на поверхностные слои тела, так как их чрезвычайная скорость является компенсацией ничтожности их массы.

Осторожные атомисты могли бы остановиться еще перед другим затруднением, а именно, перед мыслью, что *атомы, взаимно ударяясь друг о друга и ослабляя этим силу тяжести, сами должны были бы с течением времени успокоиться и остановиться. Было бы неуместно* возразить на это, что сумма движения, если взять ее в алгебраическом смысле, остается постоянной, так как несостоятельность подобного представления о сохранении движения слишком очевидна: две равные и противоположные силы способны производить известное действие до удара, но после него их дееспособность равна нулю. Из этого затруднения существует *один только выход, а именно, пойти на возможно большее увеличение промежутков между атомами, сравнительно с их величиной, и так как здесь для произвола открывается полный простор, то можно представить себе эти расстояния бесконечно большими, сравнительно с размерами атомов*, в результате чего вероятность столкновения между обуславливающими тяжесть атомами станет бесконечно малой. При всем том в заключение придется еще осветить следующий вопрос: *каким образом, при повсеместном существовании атомных потоков, небесные тела могут не испытывать замедления в своих движениях.* На это, однако, легко ответить: так как тяжесть обуславливается потоком атомов, свободных от антагонистов, то при прочих равных условиях она пропорциональна квадрату скорости атомов. Замедление же, испытываемое движением небесных тел, измеряется произведением простой скорости атомов на скорость весомого тела¹. Следовательно, тяжесть небесных тел относится к за-

¹ Для доказательства того, что замедление движений небесных тел под действием атомных потоков пропорционально произведению их скоростей, следует

ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИКИ В ТЕОРИИ ЛЕСАЖА 39

медлению их движения, как скорость вызывающих тяжесть атомов относится к скорости самих небесных тел. А так как это отношение по предположению бесконечно мало, то и замедление движущихся небесных тел по отношению к их тяжести должно быть бесконечно малым и потому вообще незаметным.

Этим, по Лесажу, исчерпывается вся сумма возражений, которые с известным правом могли бы быть сделаны против его системы. *Последняя кажется ему настолько естественной и понятной, что он даже пытается выяснить причины, которые могли помешать физикам придти к ней раньше него.* Таких причин он находит четыре: 1) неумение некоторых физиков подвергнуть математическому анализу хаос разнообразных атомных движений; 2) предрассудки других физиков, будто невозможно открыть причину тяжести; 3) опасение повредить себе и лишиться материальных выгод предложением новой системы; 4) недостаточное понимание плодотворности новой теории.

Указанным путем Лесаж с большой смелостью и неоспоримой талантливостью выработал новую систему, которая не только объясняет причину тяжести, но и поразительно наглядно разрешает многие трудные проблемы динамики. *Он показал, каким образом видимое притяжение материи — свойство, в сущности, никому непонятное — может быть объяснено ударами особой материи, порождающей тяжесть.* Исходя из своей гипотезы, он вывел оба главных закона всеобщего тяготения и доказал, что тяготение должно быть присуще всем земным телам. Далее, и закон сложения скоростей, играющий у Галилея еще сомнительную роль и выступающий у Ньютона просто в качестве аксиомы, выведен Лесажем вполне точно и наглядно из начал, положенных в основу его системы¹. Сверх того, Лесаж всегда оставался вполне самостоятельным. Высказанное им мнение, будто эпикурейцы только по непростительной небрежности не предвосхитили его открытия, вероятно, он и сам не считал серьезным; скорее всего он это сделал с целью отнять у своего труда ненавистный тому времени оттенок новшества.

С другой стороны, однако, нельзя упускать из виду, что попытка Лесажа объяснить строение материи представляет собою именно не более, как *попытку*. Главная задача его — объяснение тяжести всякой материи — выполнена всего удачнее, хотя и здесь остаются некоторые сомнительные остатки гипотетического характера. *Основная гипотеза* атомных потоков, проходящих по всевозможным направле-

принять в расчет только потоки, параллельные траектории тела. Силы, вызываемые потоками других направлений, могут быть разложены на две составляющие: параллельную и перпендикулярную к траектории; последние составляющие остаются без действия, так как они взаимно друг друга уничтожают. Замедляющая сила параллельных потоков равна разности замедления потока, задерживающего движения тела, и ускорения потока антагонистического. Если u — скорость атомов, v — скорость весомого тела, то результирующее замедление пропорционально разности $(u+v)^2 - (u-v)^2$, или произведению $4uv$, или просто произведению uv , что и требовалось доказать.

¹ Некоторые наши учебники физики приписывают закон сложения Ньютоном. На каком основании при этом не принимаются во внимание более старые права Галилея, мне неизвестно.

40 ПРИЕМ ТЕОРИИ ЛЕСАЖА ФИЗИКАМИ

ниям, через каждую точку пространства, это — *смелое предположение*, которого нельзя допустить без глубокого убеждения в плодотворности этой гипотезы. Но другое положение, *будто живая сила может теряться при редких, правда, столкновениях атомов, для физика просто неприемлема*. Эту дилемму можно бы обойти, предположив, что атомы, обуславливающие тяжесть, являются бесконечно упругими; но это значило бы предпослать теории атомов теорию упругости, между тем как первая должна служить основанием для объяснения второй. Другое возможное предположение состояло бы в том, что спорная потеря живой силы является только кажущейся, а в действительности указывает на превращение массового движения атомов во внутреннее движение отдельных частей. Но при таком толковании пришлось бы атомы рассматривать как комплексы атомов второго порядка, а материю вообще как нечто сложное, составленное из сложного же и т. д. до бесконечности¹.

Впрочем, с этими *трудностями, присущими всякой атомной теории и, быть может, зависящими, в конечном счете, от свойства нашей познавательной способности*, можно было бы еще примириться, если бы попытка Лесажа не осталась незавершенной и в других направлениях. Лесаж вывел явления тяготения из своей гипотезы атомов, вызывающих тяжесть, но дальше он в своей дедукции не пошел. Возбуждавшие как раз в то время всеобщее внимание открытия удельной теплоемкости, теплоты плавления и т. д., действия электричества и магнетизма, возможность существования различных химических элементов, их соединения и разложения оставались еще совершенно без всякого объяснения. Можно ли было бы эти явления вообще объяснить на основе его системы, и каким именно образом об этом Лесаж определенно не высказался; во всяком случае объяснение упомянутых явлений представлялось труднее построения основ самой системы. В последнем обстоятельстве и следует, вероятно, искать главную причину той холодности, с какой была принята система Лесажа.

Закон всеобщего тяготения был подтвержден тысячами наблюдений, и приложение его оказалось настолько надежным и плодотворным, что теоретическое обоснование его не возбуждало заметного интереса; тем более, что всякого рода умозрения, переступавшие за пределы фактов и их закономерности, представлялись опасными в научном отношении или же морально-вредными. Ученые не сознавали еще пользы применения лессажевых теорий к другим отделам физики и ничего от них не ждали. Вот почему, охотно признав в Лессаже талантливого философа, на него в дальнейшем перестали обращать внимание, время от времени его еще цитировали, но системы его не касались. Фишер в своей «Истории физики»² приводит несколько положений из системы Лесажа и затем ограничивается следующим замечанием: «Если согласиться с его посылками, то за механико-ато-

¹ Третья попытка (упругий удар без упругих атомов), для избежания указанной дилеммы, была сделана Лассвицем (*Lasswitz, Atomistik und Kriticismus, Braunschweig 1878*, стр. 96—106). В дальнейшем мы еще вернемся к этому вопросу.

² *Geschichte der Physik*, VI, стр. 18.

ПРОБЛЕМА ПОЗНАНИЯ МАТЕРИИ ПО КАНТУ 41

мистической физикой следует признать бесспорное преимущество, так как она делает наглядным все то, чего динамическая физика никогда не способна сделать доступным для наших чувств. Этим объясняется, почему механическая физика столько времени пользовалась почетом и до сих пор не перестает иметь почитателей». Мунке в «Gehler's physik. Wörterbuch»¹ замечает: «Наибольший интерес в новейшее время возбудила система Лесажа, согласно которой материя состоит из атомов, приводимых в движение своеобразно соединенной с ними силой, особым эфирным веществом. Если принять эту гипотезу (которая едва ли имела другого приверженца, кроме Прево) во всей строгости, то все силы, по крайней мере, все первичные или основные силы, должны быть изгнаны из природы. Мне, однако, представляется излишним вдаваться в дальнейший разбор воззрений Лесажа и их применений к явлениям природы, сделанных им самим и его последователем. Прево». Правда, в *новейшее* время, когда стали относиться с большим интересом к идее о такой причине тяготения, которая связывала бы последнее с другими силами природы, имя Лесажа опять стало часто упоминаться. Но и теперь большею частью ограничиваются только тем, что упоминают его имя или приводят цитату из его работы, не дочитывая последней до конца и не давая себе труда проверить ее с должною основательностью.

В своей работе Лесаж поначалу ставил себе узко ограниченную цель. Он хотел согласовать атомистику с ньютоновскими законами вывести из древней атомистической теории все явления всеобщего тяготения; руководясь этой точкой зрения, он лишь бегло коснулся вопроса о строении материи. *Противоположный путь избрал около того же времени Кант*². Кант подходит к своей проблеме с возможно общей и принципиальной точки зрения. Установив в своей «Критике чистого разума» законы всякого возможного опыта, он переходит к более детальному их рассмотрению. *Все объекты являются либо объектами внешних чувств, либо внутренних чувств. Первые составляют протяженную, вторые — мыслящую природу. Обычно естествознанием называют только изучение предметов первого рода.* В основе такого естествознания лежат тела, а с ними вместе *материя*. Но если изучение природы должно быть настоящей наукой, следует проверить все применяемые при этом понятия с точки зрения их необходимости; а тогда перед критической философией возникает первый вопрос, *каким образом возможна материя, как объект нашего познания?*

Это и был первый вопрос, которым занялся Кант после завершения своего главного труда «Критики чистого разума». Спустя пять

¹ 2-е издание, VI, стр. 1397.

² Immanuel Kant родился 22 апреля 1724 г. в Кенигсберге в Пруссии. С 1740 г. он изучал в Кенигсберге теологию, философию и математику. С 1746 по 1755 г. работал в качестве домашнего преподавателя; в 1755 г. он получил право преподавать в университете и читал в Кенигсберге лекции по математике, физике, логике, этике и философской энциклопедии, а позднее и по естественной теологии и антропологии. В 1770 г., т. е. на 46-м году жизни, Кант сделался ординарным профессором логики и метафизики. В 1797 г. он прекратил чтение лекций вследствие наступившей старческой дряхлости. Умер в Кенигсберге. 12 февраля 1804 г.

42 «МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» КАНТА

лет по выходе в свет последнего он дал на него ответ в сочинении «*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*» (Riga 1786) («Метафизические основы естествознания»).

Это сочинение целиком посвящено вопросу о возможности материи вообще. В нем развито единственно мыслимое представление о материи, т. е. дано полное изложение строения материи, однако, *оно не входит в обсуждение последствий такого строения и принципиально воздерживается от рассмотрения свойств и особенностей отдельных веществ*. Таким образом «Метафизические основы естествознания» принадлежат исключительно к области метафизики. Они дают условия для возможности естествознания вообще, поэтому они сами по себе и не представляют естественной науки. Это следует постоянно иметь в виду для правильного понимания сочинения Канта. Предположение, будто вместе с метафизикой здесь начинается и физика, может привести к совершенно превратному истолкованию всей этой работы.

Однако, для того чтобы метафизика естествознания вполне обеспечила полноту исследования, она необходимо должна рассматривать свой предмет по схеме общей с понятиями чистого разума, т. е. по таблице *категорий*. «Все определения общего понятия материи, а, следовательно, все, что мы о ней мыслим а priori, все что дает математическое построение, а также все, что дает наблюдение ее как определенного предмета, должно войти в состав четырех разрядов категорий: количества, качества, отношения и модальности». «Основным свойством того «*нечто*», что должно стать предметом для внешних чувств, должно быть движение, потому что только последнее способно воздействовать на наши чувства. К движению же разум сводит и все прочие предикаты материи, присущие ее природе, и таким образом все естествознание вообще есть либо чистая, либо прикладная наука о движении. Таким образом, метафизические основы естествознания распадаются на четыре главных раздела: первым из них является движение, рассматриваемое как чистое количество по его составу без отношения к качеству движимого; этот раздел может быть назван *форономией*; вторым — движение как некое качество материи под названием первоначальной движущей силы; этот раздел называется *динамикой*; третий раздел рассматривает материю вместе с этим ее качеством во взаимном отношении ее движений и называется *механикой*; наконец, четвертый определяет движение или покой материи в том виде, в каком они нам представляются в отношении их модальности, другими словами, изучает их как чувственное явление, и поэтому этот раздел носит название *феноменологии*».

«Так как foroномия занимается только движением, то субъекту ее, т. е. материи, не присваивается здесь никакого другого свойства кроме подвижности». «*Материя есть, следовательно, движущееся в пространстве*».

«В каждом нашем восприятии нечто должно быть ощущаемо и оно-то составляет реальную основу чувственного представления.

Отсюда и пространство, в котором мы хотим воспринять движение, должно быть чувственно, т. е. должно определяться тем, что может

СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ ПО КАНТУ 43

быть ощущаемо. Такое пространство, обнимающее собой все объекты опыта и, в свою очередь, являющееся объектом опыта, называется эмпирическим пространством. Но последнее, будучи материально, само по себе подвижно». «Таким образом, всякое движение, являющееся объектом опыта, только относительно; пространство, в котором оно наблюдается, является пространством относительным, которое, в свою очередь, движется, и, быть может, в противоположном направлении в более обширном пространстве, в результате чего материя, находящаяся в движении по отношению к первому пространству, может быть признана покоящейся относительно второго. Такие видоизменения понятия о движении в соответствии с изменениями относительного пространства могут быть продолжены до бесконечности. Движение предмета есть изменение внешних отношений его к данному пространству. Покой есть косное пребывание (*praesentia perdurabilis*) на одном месте, косным же называется то, что существует в течение некоторого времени, т. е. длится. Построить понятие сложного движения, значит представить себе *a priori* движение, возникшее из объединения двух или нескольких заданных движений в одном движущемся теле». *После этого Кант объясняет сложение движений совершенно так же, как Ньютон*¹, т. е. как движение в пространствах, которые, в свою очередь, движутся; даже галилеев закон сложения скоростей истолковывается им в том же смысле.

«Когда, например, говорят об удвоенной скорости, то последнюю следует понимать как составленную из двух простых и равных скоростей». «Подобное построение возможно, однако, только при условии косвенного соединения двух равных движений, из которых одно принадлежит телу, другое же — относительному пространству, движущемуся в обратном направлении, причем последнее движение совершенно тождественно движению тела в его прежнем направлении». *«Ведь само по себе не ясно, чтобы данная скорость могла быть составлена из меньших скоростей, или быстрота из медленностей, как одно большее пространство составляется из меньших».* — Действительно, нельзя представить себе сложения в каком-либо теле двух равных скоростей в одном и том же направлении без посредства внешних движущих причин; так, например, корабль может перемещать тело с некоторою скоростью в то самое время, как другая неподвижно соединенная с кораблем движущая сила сообщает телу вторую скорость, равную первой; при этом, однако, следует всегда предполагать, что тело совершает свободное движение с первой скоростью, в то время как к ней присоединяется вторая».

В динамике определение материи расширяется соответственно новой точке зрения: *«Материя есть движущееся, поскольку оно заполняет пространство».* «Наполняет же оно пространство только благодаря движущей силе, а именно такой силе, которая препятствует проникновению других, т. е. сближению. Значит, эта сила есть сила отталкивания. Следовательно, материя наполняет свое про-

¹ См. вторую часть настоящего сочинения (русский перевод, изд. ГТТИ, 1933, стр. 223).

44 СВОЙСТВА МАТЕРИИ ПО КАНТУ

пространство только при посредстве отталкивательных сил и притом — всех своих частей, в противном случае часть ее пространства (вопреки условию) не была бы заполнена, а лишь замкнута. Сила же протяженного тела, вытекающая из отталкивания всех его частей, есть сила расширения. Таким образом, материя заполняет свое пространство только вследствие присущей ей силы расширения, которая и есть первичная. Так как при сжатии материи отталкивательная сила ее должна увеличиваться, то для полного проникновения (т. е. для совершенного уничтожения расширения) одной материи в другую необходима бесконечно большая сила. Но так как подобная сила немыслима, то всякой материи присуща *непроницаемость*. Отталкивательная сила материи делает невозможным и существование пустого пространства, а так как пространство делимо до бесконечности и всякая частица его должна быть в свою очередь наполнена материей, то отсюда следует и бесконечная делимость (но не фактическое дробление) материи. Однако материи нельзя построить на одной отталкивательной силе. В самом деле, если бы влиянию последней не противодействовала другая движущая сила, материю нельзя было бы удержать ни в каких пределах протяжения, т. е. она рассеялась бы в бесконечность, и ни в каком определенном пространстве нельзя было бы найти определенного количества материи. Таким образом, *всякая материя для своего существования требует наличия сил, противоположных силам расширяющим, т. е. требует наличия сил сжимающих*.

Было бы, однако, неправильно искать первоисточник этих сил в противодействующем влиянии другой материи, так как последняя, чтобы быть материей, в свою очередь, сама нуждается в сжимающей силе. *Следовательно, всякой материи первично свойственно притяжение, как присущая ей основная сила*».

От внимания Канта не ускользает замечательный факт, что непроницаемость материи легко достигается как основное ее условие ¹, притяжение же — нет. Он объясняет это тем, что отталкивательная сила проявляется повсюду на границах; притяжение же, как действие скорее внутреннее, которое может быть прямо отнесено к одной точке, центру тяжести, не воздействует на наши чувства. Однако, по-моему, это скорее более подробное *изложение, чем объяснение* того факта, что непроницаемость никогда не отрицалась физиками и философами, взаимное же притяжение материи нередко бралось под сомнение. Кант даже пытался изменить взаимное соотношение этих двух сил и выставить притяжение в качестве наиболее первичной силы. Далее, *он, безусловно, отвергает все доводы против действия на расстоянии* (actio in distans). Всякий предмет действует на другой только там, где он сам отсутствует, так как даже в случае соприкосновения двух тел ни одно из них не находится в точке воздействия,

¹ Лейбниц пишет в письме к де-Боссю (*Gerhardt, Leibniz's phil. Schriften*, II, стр. 324): „Бог мог бы лишить субстанцию вторичной материи (materia secunda — действующая наружу, вдаль), но не первичной (materia prima, которая непроницаема), потому что этим он произвел бы чистый акт творчества (totus purus actus), а это последнее представляет только он один”.

СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ И ОТТАЛКИВАНИЯ ПО КАНТУ 45

в точке соприкосновения. Он пытается даже опровергнуть мнение, будто Ньютон оставил вопрос о причине тяготения открытым, и приходит к следующему, несколько *сомнительному*, положению: «Каким же образом мог он (Ньютон) установить закон, согласно которому всеобщее притяжение, вызываемое телами вокруг себя на равных расстояниях, пропорционально количеству их материи, не предположив, что всякая материя как таковая по самому существу своему обладает этой движущей силой?» *Впрочем, и Кант не присваивает совершенно одинаковых свойств обеим первичным силам материи, так как в этом случае они бы уравнились до нуля*; эти силы следует строго различать по роду их действия. «Отталкивательная сила, посредством которой материя наполняет пространство, действует только на поверхности тел, так как соприкасающиеся части взаимно ограничивают сферы действия этих частей и *отталкивательная сила не может приводить в движение более отдаленных частей без посредства промежуточных частей*. Напротив, притягательная сила, при посредстве которой материя занимает пространство, не заполняя его, действует на другие более отдаленные части материи через пустоту, а находящаяся в промежутке материя не ограничивает действия этой силы. Ее можно, поэтому назвать *проницающей силой*, которая ввиду этого всегда пропорциональна количеству материи». «А о всякой силе, *действующей непосредственно* на различных расстояниях, и в отношении величины движущей силы, с которой она действует на каждую точку, находящуюся на заданном расстоянии, ограниченной только размерами пространства, в котором она должна распространяться, чтобы воздействовать на данную точку, — можно сказать: такая сила во всех пространствах, где она распространяется, как бы велики или малы они ни были, должна оставаться количественно одинаковой, но степень ее действия на данную точку пространства всегда находится в обратном отношении к тому пространству, которое она должна пройти для воздействия на данную точку». «Следовательно, первоначальное притяжение материи должно действовать обратно пропорционально квадрату расстояния при всех расстояниях; первоначальное же отталкивание — обратно пропорционально кубам бесконечно малых расстояний, а в результате такого действия и противодействия обеих основных сил становится возможным существование материи с определенной степенью заполнения своего пространства». Обоснование приведенных законов действия первичных сил, в особенности же второго, оставляет желать лучшего с точки зрения ясности и точности. *Кант слагает с себя ответственность за него в следующих словах: «Считаю необходимым отметить: я не желаю, чтобы настоящее мое изложение закона первоначального отталкивания рассматривалось, как нечто необходимое для моего метафизического истолкования материи (цель которого достигнута объяснением наполнения пространства динамическим свойством материи), и чтобы к последнему (т. е. истолкованию) примешивались споры и сомнения, которые могут быть возбуждены первым»*. В длинном примечании к «Динамике» Кант пробует затем сделать еще один шаг за пределы своих «Основных Начал» в сторону реаль-

46 МЕХАНИКА И ФЕНОМЕНОЛОГИЯ КАНТА

ной физики с целью показать, каким образом на основе его точки зрения на материю может быть объяснено *различие веществ*. Мы не станем теперь касаться этого вопроса, так как нам придется еще вернуться к нему, а отметим лишь одно место, имеющее значение для кантовского метода: «Относительно эфира следует принять, что его отталкивательная сила превосходит притягательную в большей мере, чем во всех других известных нам материях. Но это единственное положение, которое мы позволяем себе принять только на том основании, что оно мыслимо. За этим единственным исключением никакой иной закон, относящийся к притягательной или отталкивательной силе, не может опираться на умозаключения a priori. *Напротив, все, даже всеобщее тяготение как причина тяжести, вместе с его законами должно быть выведено из опытных данных*».

Динамика представляет собою принципиально важнейшую и наиболее трудную часть естественной метафизики. Все остальное является сравнительно нетрудным. В механике материя определяется как «движущееся, поскольку оно в качестве такового содержит двигательную силу». Отсюда выводятся другие положения: *постоянство материи, закон инерции и равенство действия и противодействия*.

Наконец, феноменология определяет материю, как «движущееся, поскольку оно в качестве такового способно быть объектом опыта». Из этого определения выводятся три положения: «Прямолинейное, движение материи относительно эмпирического пространства, в отличие от противоположного движения пространства, представляет лишь возможный предикат». «Круговое движение материи, в отличие от противоположного движения пространства, есть истинный предикат ее. Наоборот, противоположное движение относительно пространства, взятое вместо движения тела, не есть истинное движение последнего; и если оно принимается за таковое, то лишь в результате обмана чувств». «Во всяком движении тела, при котором оно движется по отношению к другому телу, необходимо заключается равное и противоположное движение последнего».

Вся натурфилософия Канта покоится на следующем положении: *Материя как объект опыта возможна только при существовании двух первичных сил; именно отталкивательной, которая в качестве поверхностной силы способна действовать лишь при соприкосновении или на бесконечно малых расстояниях, причем действие ее обратно пропорционально кубам расстояний; и силы притягательной, которая в качестве проникающей силы способна действовать непосредственно на бесконечно больших расстояниях, причем действие ее обратно пропорционально квадратам последних*. Критический вывод этих двух сил из условий возможности опыта представляется абсолютно верным, если мы материи присваиваем индивидуальность. Ведь такая индивидуализация мыслима только в том случае, если материя располагает силами, с помощью которых она может отдалять от себя все постороннее и собирать воедино все ей принадлежащее. А так как мы, поскольку вообще возможно существование физических тел и самой физики, должны допустить наличие в материи обоих этих свойств, то существование основных сил Канта представляется в са-

КРИТИКА АПРИОРНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СИЛ 47

мом общем смысле столь же достоверным, как и опыт вообще. Но, с другой стороны, когда Кант, исходя из возможности опытного познания материи, пытается отсюда вывести сущность и действие сил, надежность критического аппарата начинает ему все более изменять. Что непроницаемость, отталкивательная сила, есть сила поверхностная, — это еще, пожалуй, можно обосновать, опираясь на принцип индивидуализации; хотя в данном случае вывод не представляется критически надежным, но, во всяком случае, против столь естественного допущения никто никогда не возражал. Но зато закон отталкивательного действия представляется прямо сомнительным. «Так как ближайшие части непрерывной материи соприкасаются между собою, независимо от того, растянута ли она или сжата, то мы представляем себе их взаимные расстояния бесконечно малыми, а эти бесконечно малые пространства в большей или меньшей мере заполненными отталкивательной их силой. Но бесконечно малое расстояние совершенно не отличается от соприкосновения, это только представление о пространстве, служащее для того, чтобы сделать наглядным расширение материи как непрерывной величины, хотя на самом деле его невозможно постичь. Следовательно, когда говорят: отталкивательные силы непосредственно отталкивающих друг друга частей материи обратно пропорциональны кубам их расстояний, то это означает только: они находятся в обратном отношении к телесным пространствам, которые мы принимаем между частицами, которые, однако, соприкасаются между собою, взаимное расстояние которых для того именно и должно быть названо бесконечно малым, чтобы его можно было отличить от всякого реального расстояния». Таким именно образом защищает Кант свой закон, согласно которому отталкивательная сила действует обратно пропорционально кубу расстояния, так как она является поверхностной силой, а притягательная — обратно пропорциональна квадрату расстояния, так как она является силой проникающей. Для того чтобы величину отталкивания связать с расстоянием, Канту пришлось сделать проникаемой и силу отталкивания на бесконечно малых расстояниях, какие только можно себе представить», и вместе с тем сохранить различный характер действия обеих сил. Я считаю это лучшим признаком несостоятельности всяких метафизических или априорных обоснований законов действия обеих первичных сил. По-видимому, и Кант основывает свои выводы не столько на предыдущих положениях, сколько на умозаключении, что обе первичные силы материи не должны действовать по одному и тому же закону. Так как для силы притяжения отношение квадратов дано, по-видимому, опытом, то сила отталкивания, уменьшающаяся с расстоянием в большей степени против силы притяжения, должна, по его мнению, подчиняться кубическому отношению. Самое различие между отталкиванием и притяжением, как сил поверхностной и проникающей, проистекает из того же соображения. Так или иначе, количественное различие обеих сил у Канта базируется на шатком основании, а против объединения этих сил в единую силу (которая, как это, например, принято в системе Босковича, с изменением расстояния изменяется и качественно) пришлось бы решительно возра-

48 ОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ОТТАЛКИВАНИЕМ И ПРИТЯЖЕНИЕМ

жать, так как при наличии у материи единой основной силы, превращение ее в свою противоположность недопустимо с теоретико-познавательной точки зрения.

Однако слабейшим пунктом оказывается здесь *качественное определение притяжения* как первичной силы материи. Причину единства в материи Кант находит в непосредственном всепроницающем действии вдаль, которое обратно пропорционально квадрату расстояния. По его мнению, эта сила представляет *единственно возможное* объяснение связи тел, причем он не скрывает от себя возникающих отсюда затруднений. Он определенно признает отталкивание первичной силой и упоминает также о попытках построения материи на основе одной этой силы; но, в конце концов, он приходит к заключению, что его сила притяжения хотя и непостижима, но необходима. С метафизической точки зрения это, по-видимому, иначе и быть не может. Древнее многократно возрождавшееся воззрение, согласно которому в результате отталкивания материи, заключенной в пределах вселенной, происходит давление, сжимающее и уплотняющее отдельные более податливые вещества, с точки зрения Канта представляется в данном случае неприемлемым, так как вопрос о границах был им признан выходящим за пределы критической философии. *Построение материи из присущих ей своеобразных состояний движения* кажется более подходящим к делу. Пожалуй, можно было бы предположить, что форономическое определение: «*Материя есть движущееся в пространстве*», должны привести к построению материи из первоначально заложенных в нее форм движения ¹. Однако Кант в своей метафизике не желает ограничиваться движениями; он стремится отыскать в динамике те силы, те причины, которые вызывают эти движения.

При всей своей самобытности в качестве философа Кант как физик не выходил из круга понятий своих современников. Оставляя за отталкиванием наглядное действие поверхностной силы, он подчеркивает, что отталкивания, действующие на большие расстояния, 'как, например, упругость воздуха' ² должны быть рассматриваемы не как первичное отталкивание, а как явления производные. Притяжение же в соответствии с общепринятым понятием о тяготении является первичной силой, неизменной, всепроницающей, непосредственно действующей на расстоянии. Однако и в данном случае он не скрывает от себя возникающих трудностей. В одном месте мы встречаем следующее интересное положение: «Почему, однако, некоторые вещества, обладая не большей, а, быть может, и меньшей связующей силой, чем некоторые жидкие тела, способны, тем не менее, противостоять перемещению своих частей в такой мере, что они могут быть разделены только при нарушении связи всех частей по данной поверхности, при-

¹ Кант в своей „Метафизике“ ни разу не упоминает имени Лесажа. Быть может, он считал его систему устраненной доказательствами невозможности существования атомов или же он предполагал, что для построения атомов необходимы те же условия, как и для построения материи — предположение вполне справедливое с его точки зрения.

² „Воздух обладает производною упругостью от тепловой материи, внутренне с ним тесно связанной и наделенной, быть может, первичной упругостью“.

ПЕРЕХОД КАНТА ОТ МЕТАФИЗИКИ К ФИЗИКЕ 49

чем получается впечатление полного сохранения связи на самой поверхности деления, — другими словами, каким образом возможны твердые тела, остается до сих пор неразрешимой задачей, несмотря на легкость, с которой как будто справляется с нею ходячая наука о природе». И, далее, в разных местах он не перестает напоминать, что различие веществ не может быть выведено чисто метафизически из основных сил. *Таким образом, остается значительная неясность насчет того, насколько взаимодействия материи должны быть отнесены непосредственно к действию основных сил, насколько их следует считать косвенным результатом действия последних и, наконец, каким образом можно прийти к построению различных материй.*

Кант в своей метафизике ставит себе задачей только критическое исследование материи как таковой. Построение же специфических различий отдельных видов материи он относит к другой пограничной области, которая уже не является метафизикой, но не является еще и эмпирической естественной наукой, а представляет собою некоторую промежуточную область между обеими этими дисциплинами.

Относительно этой пограничной области сам Кант при жизни ничего не опубликовал. Но после его смерти осталась *рукопись*, где вопрос этот рассматривается самым подробным образом и притом в направлении, которого метафизика не позволяла предугадывать. Именно, *здесь первичные силы материи действительно отступают на задний план, и материя строится на основе внутренних движений ее*, правда, первоначально вызванных теми же основными силами. В оставшихся после Канта бумагах было найдено до 100 больших листов материалов для обширного сочинения, которое должно было носить заглавие: «Vom Übergang von den metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft zur Physik» («Переход от метафизических начальных основ естествознания к физике»). Посмертная рукопись содержит первые главы этого сочинения в многократной переработке и переделке. Вследствие отсутствия общей связи, многочисленных изменений и повторений одного и того же вопроса, а также вследствие примеси сторонних заметок, не имеющих прямого отношения к теме, изучение рукописи составляет задачу нелегкую и сопряженную с большой потерей времени. Вероятно, это и было причиной, почему, несмотря на некоторые попытки разобрать и привести в порядок последний труд Канта, он был опубликован лишь недавно, да и то не в обработанном виде, а в первоначальном своем состоянии (если не считать некоторых пропусков¹).

Само по себе понятно, что и я не могу взять на себя изложения всей этой работы. Я ограничусь лишь кратким указанием некоторых мест, имеющих прямое отношение к естествознанию, да и то лишь поскольку в них проявляется стремление соединить метафизические основные силы материи с феноменальными силами, т. е. физическими силами в тесном смысле.

¹ В „Altpreuss. Monatschrift“, XIX, XX, XXI до сих пор напечатаны из 12 наличных тетрадей только от 1 до 3, 5, 7 и от 9 до 12. Остальные предвидятся в будущем.

50 МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ

Метафизические основы естествознания касались одного лишь строения материи, они указывали только первые условия, первичные силы, существование которых необходимо допустить для того, чтобы материя могла вообще стать предметом нашего опыта. «Первичные силы эти суть притяжение и отталкивание; *они обе* (действуя совместно) *и занимают вселенную* (притяжением) и вместе с тем *наполняют ее* (отталкиванием); без них материя не могла бы существовать»¹. Однако силы эти, создавая условия возможности опыта, сами по себе опытом не могут быть познаны и потому принадлежат к области философии, а не физики. Предметом последней науки могут быть только те силы, действие которых фактически обнаруживается в явлениях в форме движения, другими словами, только движущие силы материи. «В физике, следовательно, мы ищем *движущие силы материи*, составляющие причину явлений, наблюдаемых в природе»². «Физика есть, поэтому наука опытная (опирающаяся на наблюдение и опыт) о движущих силах материи. Так как, однако, опыт (внешний и внутренний) в смысле субъективной системы восприятий всегда является единым, то движущие силы, воздействующие на чувства субъекта в пространстве, уже вследствие их одновременного существования, в последнем должны быть движущими во всех его точках (ибо пустое пространство не является объектом возможного опыта). Поэтому и части материи, как движущиеся и движущие инстанции, следует себе представлять не под названием материи (ибо материя есть повсюду сущее единство движущегося), а под названием веществ, из которых состоит материя. Вещества эти многочисленны и разнообразны, и хотя все они сходны в том, что благодаря отталкиванию и притяжению они во внешнем отношении являются движущими, но, с другой стороны, видоизменяя различным образом соединение и разъединение материи, они отдают и специфически различные телообразующие движущие силы. Каждое вещество в качестве основы (базиса) этих сил составляет деятельную причину этих отношений и заимствует свое название от производимых им явлений (кислород, углерод, водород, азот и т. д.)»³. Кант считает, что существуют два рода движущих сил в веществе: *механические и динамические*. «Движущие силы либо механичны, как тела, либо динамичны, как простая материя; в отношении же организованных тел одни являются движущимися, другие — движущими.

Первого рода силы способны изменять свое местопребывание (*vis locomotiva*), силы второго рода (*vis interne motiva*) производят *внутри пространства, занимаемого материей, взаимное движение ее частей*. Механически-движущими называются такие силы, посредством которых материя только *передает* свое собственное движение другой; динамически-движущими — такие, посредством которых движение непосредственно сообщается другой»⁴. «*Механически-движу-*

¹ „Altpreuss. Monatsschrift“, XX, стр. 472.

² Там же, XXI, стр. 82.

³ Там же, XX, стр. 431.

⁴ Там же, XIX, стр. 80.

ЭФИР КАК УСЛОВИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПО КАНТУ 51

*щие силы предполагают существование динамических первично-движущих»*¹. С этими-то динамически-движущими силами приходится исключительно иметь дело при переходе от метафизики к физике, так как механические силы являются только производными.

Так как пространство есть форма нашего представления, приложимая только к нашим чувственным данным, то пустое пространство без заполнения его материей абсолютно непознаваемо. *«Пустое пространство не является объектом возможного опыта. Когда оно становится таковым, оно заполняется материей и притом во всех своих частях»*². Но так как существует только одно пространство и один опыт, то и все пространство должно быть заполнено непрерывным, единым, однородным веществом, служащим основанием для нашего пространственного представления. Вещество это, подобно всякой материи, может стать объектом наших чувств только в том случае, если оно, двигаясь и двигая, находится в постоянном движении во всех своих частях. Такое движение не следует, однако, представлять себе механическим, потому что в этом случае вещество потребовало бы наличия другого, которое привело бы его в движение. Движение это не может также иметь начала во времени, потому что в этом случае материи пришлось бы приписать самопроизвольность, противоречащую самому понятию о ней. *Вещество, наполняющее собою все пространство вселенной, должно было существовать от начала веков, непрерывно двигаясь, само поддерживая свое движение, без перемещения в пространстве, одним только внутренним постоянным неувеличивающимся и неуменьшающимся движением.* Вещество это, составляющее основное условие возможности физики, Кант называет *теплородом* (без всякого отношения к ощущению тепла) или *эфиром*. «Оно разлито во всей вселенной как непрерывная, равномерно проникающая и наполняющая все тела (а, следовательно, не подверженная перемещениям) материя, которая — все равно, будем ли мы ее называть теплородом или эфиром — не есть какое-либо гипотетическое вещество..., напротив, оно может быть познано а priori и постулировано как нечто необходимое для перехода от метафизических основ естествознания к физике»³.

Общим основанием соединения всех движущих сил материи служит *теплород* (как бы само олицетворенное пространство, в котором все движется), принцип возможного единства всего возможного опыта. *Теплород есть воспринимаемое пространство, лишенное всех других свойств...* Так как в пространстве все способно перемещаться, за исключением самого пространства, так как пустое пространство не может быть объектом опыта, то указанное выше вещество должно

¹ „Altpreuss. Monatsschrift“, XXI, стр. 87.

² Там же, XX, стр. 109.

³ Там же, XX, стр. 102. Уверенность Канта в существовании эфира разделяет Тиндаль, хотя оба они стоят на совершенно различных почвах. Тиндаль в своих „Отрывках из естественных наук“ замечает: „Большинство натуралистов так же твердо убеждены в его (эфира) существовании, как и в существовании Солнца и Луны“.

52 ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭФИРА ПО КАНТУ

быть разлито во всей вселенной и существование его необходимо, именно это отношению к чувственным предметам»¹.

Значительная часть рукописи Канта, о которой здесь идет речь, заполнена доказательствами реальности эфира. Все они более или менее следуют указанному выше направлению, но есть и отклонения. Я приведу из них еще один довод, до известной степени напоминающий кантовскую гипотезу мироздания. «Предметом естествознания является либо *материя вообще (бесформенная) либо тела*, т. е. материя, принявшая известную форму благодаря присущим ей внутренним и внешним движущим силам, ограничивающая себя самое по очертанию и строению и противостоящая всяким изменениям последних,— материя, которую называют физическим телом»². Однако положение, что существуют физические тела, предполагает наличие другого положения, что существует материя, движущие силы и движение которой по времени предшествовали возникновению тела. «Образование тел самой материей должно иметь свое исходное начало, возможность которого непостижима, но первичность в смысле самостоятельности не подлежит сомнению»³. Должна, следовательно, существовать материя, которая одна обладает первично-движущей силой, которая заполняет всю вселенную и повсюду поддерживает деятельность всех прочих движущих сил. *Эта-то materia primitiae movens*, эфир или теплород «не может быть ни твердой, ни жидкой, ни сжимаемой, а может быть только постоянно движущей благодаря собственному притяжению и отталкиванию (метафизическим силам)»⁴. Так как эфиру несвойственны движения, связанные с перемещением, то он способен только производить *колебания внутри самого себя*; эти колебания, вызванные его первичными силами, продолжаются в вечность⁵. Подобно самому эфиру и движения его равномерны во всей вселенной, они служат повсюду источником движущих сил и вновь принимают их в себя. Построив таким образом материю с ее движущими силами, Кант переходит к подробному изучению ее свойств по четырем категориям — количества, качества, отношения и модальности.

«Если бы вся наполняющая пространство материя была однородна, то *количество* ее, будучи равномерно распределено в равных пространствах, поддавалось бы геометрическому измерению при посредстве объемов пространства (*volumina*)»⁶.

Поскольку, однако, этого нет, должно существовать динамическое средство для определения количества материи на основе количества

¹ „Altpreuss. Monatsschrift", XX, стр. 106—107.

² Там же, XX, стр. 100.

³ Там же, XX, стр. 100.

⁴ Там же, XX, стр. 107.

⁵ Интересно отношение между некоторыми положениями докторской диссертации Канта „De Igne" („Об огне") (17 апреля 1755 г.) и последним его трудом. В первой мы читаем „Положение VII. Огневое вещество есть вещество упругое, связующее элементы тела, в котором оно содержится; его волнообразные или колебательные движения производят то, что называют теплотой".—„Положение VIII. Теплород есть не что иное, как эфир (световое вещество), который вследствие сильного притяжения тел сжат в промежутках между их частицами".

⁶ „Altpreuss. Monatsschrift", XIX, стр. 81.

НЕВЕСОМОСТЬ ЭФИРА. ОБЪЯСНЕНИЕ СЦЕПЛЕНИЯ 53

ее движения. Таким прибором являются весы. *Всякая материя, по самому понятию о ней, весома, так как в противном случае количество ее совершенно не поддавалось бы измерению.* «Абсолютно невесомая материя была бы противоречием самой себе, потому что она представляла бы движущую силу без всякого количества последней. *Вместе с тем легко представить себе относительно или условно невесомую материю, для которой были бы невозможны какие бы то ни было весы, а именно, если бы эта материя была несжимаемой*» ¹. Такую относительно невесомую материю, единственно возможную, представляет собой эфир, который содержится в каждой части пространства, и потому абсолютно несжимаем и абсолютно не замыкаем, а, следовательно, и не сможет быть удержан и определен никакими весами. Другими словами, *эфир невесом потому, что мы представляем его себе как материю, не только равномерно распространенную в бесконечном пространстве, не только окружающую все тела, но и как материю, проникающую их насквозь до самых глубин и, следовательно, нигде не могущую падать и проявить какой-либо вес.*

«Первое подразделение материи по отношению к ее *качеству* может быть только таким: материя либо жидка, либо тверда; последнее свойство ее может быть правильнее выражено, по примеру Эйлера, словом *starre* (*materia rigida*)» ².

«*Жидкой называется материя, которой можно сообщить движение только путем непрерывно следующих друг за другом ударов бесконечно раздробленной величины на спокойной поверхности тела.* Наоборот, мы называем твердым такое тело, поверхность которого, оставаясь неподвижной, сопротивляется упомянутым ударам» ³.

«Капельножидкой называется весома материя, принимающая вследствие внутреннего притяжения в окружающем пространстве шаровую форму (жидкость, стремящаяся занять наименьший объем). Упруго-жидкие вещества (например, воздух и пар) могут быть подразделены на постоянно- и переходно-жидкие; первые из них косят название газов» ⁴. *Всякая связь в капельножидких, равно как и в твердых телах, объясняется единственно движущими силами эфира. «Притяжение при соприкосновении не порождает движения, так как материя сопротивляется притянутыми частями тела в направлении соприкосновения в такой же мере, в какой они притягиваются ею. Поэтому вода, ртуть и др. неспособны образовать капель собственными силами. Столь же недействительным оказывается в данном случае и давление, т. е. мертвая сила. Тут необходим удар, который не двинул бы всю водяную массу в одном каком-либо направлении, но сообщил бы непрерывный ряд пульсообразных толчков всем частицам ее во всех направлениях. Но тогда становится понятным, что жидкость должна уступать этим ударам до тех пор, пока соприкосновение между ее частицами не станет наибольшим, а соприкосновение с пустым простран-*

¹ „Altpreuss. Monatsschrift“, XIX, стр. 82.

² Там же, XX, стр. 350.

³ Там же, XIX, стр. 84.

⁴ Там же, XIX, стр. 85.

54 СЦЕПЛЕНИЕ. ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ

ством — наименьшим», т. е. пока водяная капля не примет шаровую форму¹. «Таким образом, только непрерывно находящийся в дрожательном или колебательном состоянии, пронизающий всю материю теплород, т. е. живая сила материи, является причиной существования капельной жидкости, как таковой»². *Но и строение твердых тел обусловлено действием движущих сил теплорода.* «Эту связь можно представить себе двояким способом, а именно: либо как поверхностное, либо как пронизающее притяжение, но в обоих случаях — при условии соприкосновения (во избежание смешения с притяжением вследствие тяготения) — осуществляемое постоянным все пронизающим колебанием теплорода, причем действие это может видоизменяться по своей величине для весовой материи различных видов и состояний»³. Сила сцепления какого-либо вещества может быть измерена длиной призмы, разрывающейся от собственной тяжести. Но так как эту призму можно мысленно разделить на бесконечно тонкие пластинки и все они должны поддерживать призму силой своего сцепления, то причину сцепления, очевидно, нельзя искать только в каждой отдельной пластинке; причиной ее должно быть только нечто пронизающее — живая сила пронизающей материи. «Сцепление всего весомого обуславливается несцепляемым и невесомым»⁴. «Сцепление заключает в себе момент конечной скорости, который, однако, не производит ускорения, потому что одновременно с притяжением он содержит в себе и отталкивание в виде действительного колебательного движения и постоянно сменяющихся взаимных ударов, т. е. живую силу. Эта движущая сила есть теплород, так как все твердое произошло из жидкого, а, следовательно, от взаимных ударов, которые, в конце концов, производят однообразные внутренние движения»⁵.

Продолжая рассуждать таким образом, Кант, далее, объясняет с помощью теплорода или эфира *переход твердых тел в жидкие и обратно*, взаимное притяжение твердых и жидких тел, как, например, явления волосности и некоторые другие явления, которые он разбирает в главе *об отношении между движущими силами материи*. От исследования *модальности* движущих сил материи не осталось почти ничего кроме заголовка. Странно, что при исследовании движущих сил материи Кант почти оставляет без внимания и отношение силы тяжести к первичным силам. Между тем, если принять, что теплород или эфир является материей *повсюду распространенной, всепронизающей, вседвижущей* (а если учесть и время, то можно прибавить «*положившей начало всякому движению*»), материей, наполняющей всю вселенную, то следует, очевидно, отнести за счет этого эфира *и силу тяжести и ближе рассмотреть ее связь с его первичными силами*. Можно, впрочем, указать одно место, где Кант намекает на нечто подобное. «Так, например, общее учение о притяжении на расстоянии и об обратном отношении его к квадрату расстояний, в том

¹ „Altpreuss. Monatsschrift“, XXI, стр. 100. Ср. XX, стр. 553.

² Там же, XXI, стр. 89.

³ Там же, XXI, стр. 153.

⁴ Там же, XIX, стр. 93.

⁵ Там же, XIX, стр. 94,

ВАЖНОСТЬ ЭФИРА ДЛЯ КРИТИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ 55

виде как эти понятия можно мыслить а priori, принадлежит к метафизическим основам естествознания; учение же о тяжести в том виде, как она и законы ее наблюдаются на различных высотах, принадлежит к области физики; но оба эти учения все-таки должны быть приведены в связь в натурфилософии»¹. Тем не менее, в тех, правда, редких случаях, когда Канту приходится упоминать о тяжести или тяготении, он обходит эту проблему и стремится только доказать², что повсюду в пространстве должна содержаться материя, которой следует присвоить не одни только притягательные, но и отталкивательные силы.

Согласно плану Канта, сочинение его должно было состоять из двух частей. За элементарной системой движущих сил материи должна была следовать система вселенной. Возможно, даже вероятно, что во второй части своей работы Кант предполагал ближе рассмотреть вопрос о движущих силах, действующих между небесными телами.

Довести задуманное сочинение до конца было насущною потребностью для Канта. Так как для него пространство было лишь одной из форм нашего представления, то реально существующим могло быть для него только пространство, заполненное материей. Совершенное заполнение пространства материей было в его метафизических основах показано, исходя из первичных сил материи. Но одно это еще не сделало материю для нас объектом опыта; таковой она становится только тогда, когда она действует на наши чувства. А так как последнее возможно только при помощи движения, то нужно принять, что материя повсюду в пространстве находится в постоянном движении. Вот почему эфир и составляет для всей философской системы Канта совершенно необходимое, неизбежное построение, а вовсе не праздное измышление умственно расслабленного старца. Только с этой точки зрения становится понятной та масса труда, которую Кант в последние годы своей жизни посвятил своей задаче. Какое значение он сам ей придавал, видно из одного его письма к Гарве от 21 сентября 1789 г. В этом письме он жалуется на горькую судьбу, которая предопределила ему «видеть перед собой полное подведение итогов, касающихся всей философии в целом, и не иметь возможности довести дело до конца». Он называет свое состояние «танталовой мукой, впрочем, все еще не безнадежной». Затем, входя в некоторые подробности, он продолжает: «Вопрос, которым я занимаюсь в настоящее время, касается «перехода от метафизических основ к естествознанию». Он должен быть разрешен, иначе в системе критической философии останется пробел. Требования разума не перестают настаивать на необходимости его разрешения; сознание возможности говорит за то же, но достижение цели постоянно отодвигается, если не полным прекращением жизненной энергии, то часто повторяющимся упадком ее, доводящим меня до мучительного нетерпения»³.

¹ „Altpreuss. Monatsschrift“, XX, стр. 548.

² Там же, XIX. стр. 593—607.

³ Там же. XX, стр. 342.

56 ОТНОШЕНИЕ ЭФИРА К ФИЗИКЕ

Действительно, в своем последнем труде Кант сделал значительный шаг от метафизических основ естествознания по направлению к физике. *Substance purement grave* и *fluide déférent* Делюка ¹ находились в близком родстве с кантовой весомой материей и его эфиром; и Кант в нескольких местах своего сочинения цитирует этого физика. Хотя о Лесаже Кант в этой работе нигде не упоминает, тем не менее, он сходится с ним в том отношении, что все движущие силы он приписывает невесомой материи и к последней относит начало всех движений. Принципиальное различие обеих теорий заключается только в том, что Лесаж приписывает своему эфиру одни лишь механические силы, одни только прямолинейно-однообразные движения, а Кант наделяет свое невесомое вещество динамическими силами, являющимися первичной причиной движения и признает только внутренние колебательные движения. Стоя на почве кантовских воззрений, можно было бы сговориться и с не слишком упорным атомистом, если бы последний не настаивал на *абсолютно пустом пространстве* и на абсолютной *неделимости атомов*, а примирился бы с пространствами, не содержащими весомой материи с фактически нераздробимыми мельчайшими частицами весомой материи. Во всяком случае, Кант, опередив свое время, выдвинул на передний план представление о внутреннем движении всей материи. И когда Кант утверждает, что материя может стать объектом опыта только как нечто движущееся, движущее и движимое, что, следовательно, материю можно понять, только представляя ее себе находящейся в постоянном непрерывном внутреннем движении, — он переносится в круг тех воззрений, которые получили признание в физике лишь после разработки новой теории теплоты и механической теории газов, а затем, постепенно получили всеобщее распространение. Материю только и можно себе представить и объяснить, как нечто движущееся; всякая материя — твердая, жидкая, газообразная — всегда находится в непрерывном внутреннем движении.

Это драгоценнейшее зерно посмертного труда Канта, которое ныне постепенно развивается и крепнет, благодаря исследованиям новейшей физики, и которому метафизические основы естествознания казались столь чуждыми — это зерно свидетельствует не только о важности незаконченной работы Канта, но и о состоятельности всей его критической системы, по крайней мере, поскольку последняя продолжает оставаться в чисто теоретико-познавательной области ².

Преклонный возраст Канта не явился, однако, единственной причиной тех затруднений, которые он встретил при дальнейшем развитии своих положений при попытке вывести все движущие силы материи

¹ См. ниже. *Прим. ред.*

² В этом высказывании Розенбергер отдает дань своему времени, когда среди буржуазных философов начали раздаваться призывы: „Назад к Канту!“. Советский читатель легко, конечно, поймет, что ни о какой „состоятельности“ „критической системы“ Канта в „теоретико-познавательной области“ не может быть и речи. История (и в частности история естествознания) показала как раз обратное, что в работах Энгельса и Ленина основательно доказано. *Прим. ред.*

ЗАТРУДНЕНИЯ НАТУРФИЛОСОФИИ КАНТА. ЕЕ ВЛИЯНИЕ 57

из свойств эфира. Конечно, преклонным возрастом можно объяснить многочисленные и мало отличающиеся друг от друга попытки разрешения вопроса: он мог до известной степени помешать ему двигаться вперед. Однако полное разрешение проблемы, полагаю, не удалось бы ему и в период полного расцвета сил. Переход от метафизики к физике не является проблемой, разрешимой трудами отдельного мыслителя. Это задача двух наук, к разрешению которой они обе постепенно приближаются, но, пожалуй, никогда окончательно не придут. Физик будет всегда создавать для себя гипотезы о строении материи в соответствии с уровнем своих знаний, не заботясь о том, выражают ли они собою самую сущность материи. Философ же при своем построении материи всегда будет руководствоваться тем соображением, в какой мере его построение соответствует требованиям теории познания, не останавливаясь на том, могут ли быть выведены все физические свойства материи из его построения. Пропась между обоими этими построениями будет постепенно уменьшаться, но никогда окончательно не будет заполнена. Достаточно, если философы и физики настолько проникнутся взаимным уважением и приобретут настолько основательные знания в чужой области науки, что не будут создавать прямо противоречащих и исключаящих друг друга построений; если философы и физики не будут выдавать своих построений за совершенные и единственно правильные решения задачи; если они будут смотреть на них лишь как на подготовительный материал, как на ступени, приближающие к достижению общей желанной цели. *Обе науки не обречены на вечное противоречие; они вполне способны идти навстречу одна другой и постепенно сближаться.* Убедительным доказательством этого может служить посмертный труд Канта.

В этом и заключается значение рассматриваемой работы для физики. Другого влияния на эту науку и на ее представителей она, конечно, иметь не могла, оставаясь до сих пор известной физикам разве по одному названию. На самого же Канта и на его отношение к физике эта рукопись бросает новый свет, почему я и не счел себя вправе обойти ее молчанием.

А теперь нам следует вычеркнуть ее из памяти и вернуться к «Метафизическим основам естествознания», чтобы проследить, какое влияние это сочинение имело — по крайней мере, в свое время. Сначала эта работа получила очень большое распространение в среде физиков и под влиянием свежего еще впечатления от «Критики чистого разума» встретила восторженный прием и не возбуждала почти никаких возражений. Гейдельбергский профессор Мунке¹ в 1831 г. высказывается на этот счет очень определенно: «Философская система Канта имела столь полный успех, что его современники считали излишним заниматься проверкой частных и признавали всю систему вполне законченной и совершенной».

Разработанное им понятие о материи оставалось в пределах умопознания; нельзя было каким бы то ни было путем доказать, что обе

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl. VI, стр. 1419.

58 ВЛИЯНИЕ КАНТОВОЙ НАТУРФИЛОСОФИИ

гипотетически принятые силы несвойственны материи, а так как древняя атомистика незадолго до того была отвергнута вследствие своей несостоятельности, то и в среде физиков приверженцы Ньютона смотрели благосклонно на предпочтение, оказываемое так называемому динамическому учению о природе. Поэтому нелегко выделить имена наиболее выдающихся ученых из числа примкнувших к новой системе в ее первоначальной чистоте. Полагаю, однако, что к числу их принадлежали И. К. Фишер¹ и И. Ф. Фриз. Впрочем, большинство приписывало знаменитому философу совсем не то, что им было действительно сказано. Однако увлечение системой Канта было менее общим, чем это казалось на первых порах. Большинство физиков не высказывало сначала своего особого мнения, а когда восторг поостыл, оказалось, что число искренне обращенных между ними весьма незначительно. Прежде всего это проявилось в восстановлении господства атомистического учения, незадолго до того поколебленного. Новые химические открытия, установленное вскоре *постоянство отношений в химических соединениях, столь легко объяснимое с атомистической точки зрения и столь трудно — с помощью динамической философии*, и вообще все *новое здание теоретической химии, постепенно гордо воздвигавшееся на фундаменте атомистики, а также, может быть, новые открытия в теории теплоты*, — все это *настойчиво влекло к атомистике, как к простейшему объяснению явлений*. Критическое доказательство Канта невозможности существования пустого пространства и атомов столь же мало могло отвлечь одних от признания атомов, сколько привлечь других на сторону динамического заполнения пространства материей. *Лучшая участь выпала на долю основных сил материи*. Со времени Ньютона притягательные силы стали необходимыми для построения мироздания. Отталкивательные силы приписывали теплоту для объяснения расширения тел; мало того, в магнитных и электрических жидкостях физики имели даже примеры совместного существования обеих сил. Не было, по-видимому, поводов не соглашаться с великим философом и в этой области. *Тем не менее, и здесь зависимость физики от философии* оказалась только мнимой. Свойства всеобщего притяжения были Кантом заимствованы у Ньютона. Их никто и не оспаривал, но самое притяжение было присвоено атомам в качестве основной силы и этой последней прямо объяснили тяготение. По поводу отношения притяжения к сцеплению и прилипанию мнения еще расходились, и каждый физик создавал себе собственную гипотезу, наиболее подходящую для его исследований. *Отталкивательная же сила Канта, в смысле первичной силы, мало беспокоила физиков*. По существу здесь придерживались абсолютной непроницаемости атомов, а на счет того, следует ли считать отталкивательную силу упругих тел, теплоты и т. д. *поверхностной силой и притом обратно пропорциональной кубам расстояний*, — об этом почти не высказывались; ограничившись лишь утверждением,

¹ Фишер в своей „Geschichte der Physik“ (VI, стр. 15—115) дает подробное извлечение из „Метафизических основ естествознания“ и указывает на полную и безусловную свою солидарность с воззрениями Канта.

что эта сила уменьшается с увеличением расстояния в большей степени, чем сила притяжения.

Преемники Канта по философии со своей стороны не были способны приобрести в среде физиков большого числа сторонников, чем имел их учитель. Правда, Шеллинг, по крайней мере, в начале своей деятельности, стоял на одной общей почве с естествознанием и старался в своей философии отвести опыту должное место. Первые сочинения его ¹, если дать себе труд переложить его образный язык на технические естественнонаучные выражения, способны навести физиков на новые мысли и во многих отношениях интересны. В них ясно сказывается стремление автора сообщить кантовской натурфилософии дальнейшее развитие на основе данных новейших физических исследований, на основе открытия гальванизма с его разнообразными действиями.

Природа, по Шеллингу, есть совокупность всего бытия. А так как бытие есть абсолютная деятельность, то и природа может быть воспринята только как абсолютная деятельность. Абсолютная деятельность сама по себе производит только бесконечный продукт; для того же, чтоб могли образоваться конечные продукты, деятельность природы должна быть ограничена. Таким ограничением может явиться опять-таки деятельность природы, но только противоположная первой. Следовательно, природа обусловлена двумя силами, противоположными по своему направлению, ускоряющей и замедляющей, или расширяющей и сжимающей. Единство обеих этих сил и есть материя ². В различных материях различные противоположные силы находятся в различных между собою отношениях. Там, где силы всегда

¹ Ideen zu einer Philosophie der Natur, Leipzig 1797. Von der Weltseele, Hamburg 1798 (к 3-му изданию 1809 г. приложена статья „Über das Verhältniss des Realen und Idealen in der Natur oder Entwicklung der ersten grundsätze der Naturphilosophie zu der Prinzipien der Schwere und des Lichts"). Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie, Jena und Leipzig 1799. System des transcendentalen idealismus, Tübingen 1800. Статьи в журнале „Ztschr. für speculative Physik", Jena und Leipzig 1800 и 1801, два тома (среди последних между прочим, „Allgemeine Deduction des dynamischen Processes oder der Kategorien der Physik", I, 1800).

² Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie, Sämmtl. Werke, Stuttgart u. Augsburg 1858, III, стр. 12—30. System des transcendentalen Idealismus, Sämmtl. Werke; III, стр. 440—444. Замечательно отношение Шеллинга к атомистике: материя, как продукт, делима до бесконечности, так как каждая часть материи должна быть, в свою очередь, материей и потому делимой. Однако, поскольку материя является продуктом *деятельностей*, в ней должны содержаться и простые неделимые элементы, „потому, что каждое подобное действие поистине индивидуально". „Натурфилософия, значит, не является ни динамической, в прежнем смысле этого слова, ни атомистической, она есть *динамическая атомистика*" (Sämmtl. Werke, III, стр. 21—23). „Философ-атомист имеет перед так называемым динамическим философом то бесконечное преимущество, что своими атомами, из которых каждый имеет свой индивидуальный облик, он вносит нечто первично-индивидуальное в природу. Нужно только иметь в виду, что эти атомы, будучи сами по себе уже продуктом, не могут быть признаваемы чем-то первым или последним в природе. На этом основании натурфилософия (динамическая атомистика) ставит на их место простые действия, т. е. последнее в природе, нечто такое, что чисто продуктивно, не будучи продуктом" (Sämmtl. Werke, III, стр. 102).

60 РАЗВИТИЕ НАТУРФИЛОСОФИИ ШЕЛЛИНГА

ближе к равновесию, получается наиболее жидкая материя (по-видимому, теплород) ¹. Материя, в которой заключались бы одни замедляющие силы, была бы абсолютно твердой, но подобная материя столь же немыслима, как и абсолютно жидкая. Отталкивательная и притягательная деятельности должны взаимно уничтожаться, поэтому никакая материя не может проявлять притягательной силы за пределами своей сферы ². Там, где два тела взаимно действуют друг на друга на расстоянии, это может произойти только в результате их отношения к третьему. Для всех тел солнечной системы этим третьим является Солнце, а отношения первых к последнему осуществляются при посредстве света ³. В первых своих сочинениях Шеллинг обращает при этом особое внимание на химические свойства света; позднее он пользуется светом гораздо шире, делая его посредником соединения идеального с реальным, субъективного с объективным. *Свет не материя, а первая идеальная деятельность материи*. Свет описывает все размеры пространства, но не заполняет его; свет не есть сама заполняющая пространство деятельность, а лишь построение заполнения пространства. *Но строящее есть в то же время и постигающее*. Следовательно, свет в качестве строителя заполнения пространства есть по отношению к нему и постигающее его или понятие. Хотя свет и материя находятся в одной и той же сфере бытия, но они относятся между собой внутри этой сферы, как идеальное к реальному, как представление к предмету. Поскольку свет только понятие, он представляет собою нечто субъективное, поскольку же он является *внешним* проявлением материи, он — объективен. *Вся природа есть развитие ступеней, из которых каждая, подобно свету, бывает по отношению к предыдущей идеальной, а по отношению к последующей — реальной. Вся природа есть единство*. В органической, как и в неорганической природе действуют одни и те же силы в одних и тех же формах. Везде проявляется противоположность деятельностей, полярность действий, соединяющихся в своем продукте, как в высшем единстве. Действиями неорганической природы в восходящем ряде ступеней являются: *химизм* (свет), *электричество и магнетизм*; им в органической природе соответствуют: *возрождаемость, раздражаемость, чувствительность* ⁴. Во всех этих явлениях действуют противоположности, которые, взаимно уравниваясь, поднимаются на высшую ступень единства ⁵.

¹ „Этот принцип (разжижения всего в природе) называется тепловым началом; он, следовательно, не представляет собою какого-либо простого вещества или какой-либо материи, а всегда только явление (Phänomen) постоянно уменьшающейся вместимости (первичных взаимодействий). Новая теория теплоты основана на этих воззрениях" (Sämmtl. Werke, III, стр. 32).

² Sämmtl. Werke, III, стр. 103—104.

³ Там же, III, стр. 104—136.

⁴ Там же, III, стр. 207—220.

⁵ Там же, III, стр. 207. „Наступило, по-видимому, время указать на такую же последовательность и в органической природе и доказать правильность мысли, что органические силы — *чувствительность, раздражаемость и формообразующая сила* (Bildungstrieb) — суть лишь разветвления одной подобно тому как, без сомнения, в свете, электричестве и т. д. действует одна и та же сила в разнообразных проявлениях".

ВЛИЯНИЕ НАТУРФИЛОСОФИИ ШЕЛЛИНГА 61

Идеи единства всей природы, всеобщего господства в ней полярности и вытекающего отсюда развития к совершенству, которые Шеллинг на своем цветистом языке защищал с такой же смелостью, как и талантом, приобрели ему многочисленных приверженцев и в среде натуралистов, в особенности среди физиологов. Но эти самые идеи постепенно влекли его ко все более и более органическому, интеллектуальному, идеальному взгляду на явления неорганической природы, следовательно, постепенно отдаляли его от опытной почвы. Они же побудили его увлечься вновь всплывшими наружу теориями животного магнетизма и относиться восторженно к опытам, которые гениальный и вместе с тем сумасбродный физик Риттер производил в то время в Мюнхене. Шеллинг писал по этому поводу Гегелю ¹: «Мы здесь занимаемся вещами, в высшей степени чудесными. Не так давно здесь было получено сообщение из Италии, что на границе Тироля живет какой-то отгадчик металлов и воды. Наш министр, искренне сочувствующий всему великому и доброму, узнав об этом, согласился на сделанное ему предложение послать туда Риттера. И что же? Действительность превзошла ожидания... Чтобы убедиться в этом, попробуй взять кубик из любого вещества, например из серного колчедана, плавленной серы или из какого-нибудь металла, всего лучше — золота, и повесь его вертикально, прикрепив к мокрой нитке, которую ты должен держать между пальцами. Ты усидишь, что над водой или металлами кубик тотчас начнет приходить в эллиптические колебания, все более и более приближающиеся к круговым ... Над северным полюсом магнита маятник

отклонится в таком направлении , над южным полюсом в таком ; такое же отношение замечается в колебаниях кубика над серебром, медью и т. д., в колебаниях над цинком, водой. Мало того, Риттер познакомился в Милане с аббатом, который этим же способом перепробовал все человеческое тело. Произведи опыты над головой, частями лица, пальцами, наружною и внутреннею поверхностью руки, над правой и левой стороной тела, и ты найдешь ту же противоположность. Над стеблевым концом яблока маятник отклоняется, как над северным полюсом; над противоположным, — как над южным. То же повторяется над острым и тупым концами яйца ... Но настоящая палочка-гадалка дает у нас у всех отклонения над ничтожнейшими количествами металла или воды, т. е. именно только у нас, занимающихся этими опытами, потому что многим природа отказала в этой силе или же ее отнял их образ жизни. Вот истинное волшебство человеческого существа; ни одно животное не обладает этим даром... Риттер собирается издавать особый журнал под названием «Сидеризм»... Он привез с собой отгадчика воды и металлов и извлечет много поразительного из этого нового чуда».

Физики, за немногими исключениями, энергично восстали против этого нового вида экспериментального исследования. В ряде статей

¹ Aus Schelling's Leben, Leipzig 1870, II, стр. 112—114. Письмо получено 11 января 1807 г.

² „Gilbert's Annalen der Physik und Chemie“, XXVII, стр. 1—77; 158—230, 328—341; 477—488, 1807.

62 ПРЕНЕБРЕЖЕНИЕ К НАТУРФИЛОСОФИИ. ЛАПЛАС

гильбертовского журнала доказывалось, что описанные явления либо вовсе отсутствовали, либо они вызывались незаметными и бессознательными движениями руки, которые, в свою очередь, могли быть вызваны движениями глаз или легкими движениями головы. *После этого физики начали относиться к сочинениям Шеллинга с возрастающим недоверием, и по мере того, как он сам стал отходить от природы, исследователи последней стали отворачиваться от его философии*¹.

Вместе с тем в среде физиков постепенно распространилось пренебрежение или даже ненависть к натурфилософии вообще, и вскоре они пришли к такой точке зрения, в силу которой в учении о материи все казалось запрещенным, а потому самому и дозволенным. О строении материи и свойствах ее сил по меньшей мере, избегали говорить, и только в сочинениях некоторых выдающихся физиков-математиков можно отыскать достаточный материал для того, чтобы воспроизвести господствовавшее в то время учение о материи.

Всего удобнее для этой цели сочинения Лапласа², который по занимающему нас вопросу высказывается многократно и сравнительно подробно. *Теория Лапласа*³ вкратце заключается в следующем: «Для того чтобы при этих (относительных) движениях представить себе предел и найти такие неподвижные точки, к которым можно было бы относить абсолютное движение тел, следует вообразить себе *безграничное, неподвижное и способное заполняться материей пространство*. К частям этого действительного или воображаемого пространства мы и относим мысленно положение тел, *представляя их себе находящимися в движении, когда тела последовательно совпадают с различными местами этого пространства*.

Природа того своеобразного видоизменения, вследствие которого тело перемещается с одного места на другое, до сих пор неизвестна и таковой останется и в будущем. Ее обозначили словом сила, но мы

¹ Friderich Wilhelm Joseph Schelling, сын сельского священника родился 27 января 1775 г. в Леонберге (в Вюртемберге). В 1790 г. поступил в Тюбингенскую духовную семинарию. В 1796—1797 гг., работая в качестве гувернера в Лейпциге, занимался естественными науками и математикой. В 1798 г. он стал профессором в Иене. В 1803 г. — в Вюрцбурге, в 1806 г. был избран членом Мюнхенской академии наук, в которой остался потом в качестве постоянного секретаря. В 1841 г. был избран членом Берлинской академии наук. В 1803 г. Шеллинг вступил в брак с Каролиной Шлегель, которая умерла в 1809 г. Сам Шеллинг умер 20 августа 1854 г. в Рагаде.

² Pierre Simon Laplace родился 28 марта 1749 г. в Beaumont-en-Auge, умер 5 марта 1827 г. в Париже. Сначала был преподавателем математики в родном городе, потом в Париже — экзаменатором в Королевской артиллерийской школе, позднее — преподавателем в Нормальной школе. В 1799 г. — министр внутренних дел, потом — член сената. От Наполеона получил звание графа Империи; от Людовика XVIII — звание пэра, а в 1817 г. — маркиза. Из его обширного труда *Traité de Mécanique Céleste* в 1799 г. появились I и II тт., в 1802 г. — III т., в 1805 г. — IV т., входящие в состав V т. 11-я и 12-я книги появились в 1823 г., 13—15-я — в 1824 г. и 16-я книга — в 1825.

³ *Traité de Mécanique Céleste*, т. 1 и II, Paris 1799. *Exposition du système du monde*, Paris 1796. Более поздние статьи в „*Annales de chimie et de physique*“, XXI и сл.

ЗАКОН ИНЕРЦИИ ПО ЛАПЛАСУ. СИЛА И СКОРОСТЬ 63

в состоянии определить лишь ее действия и закон, выражающий характер ее действия¹.

«Находящаяся в покое точка не может сама собою придти в движение, так как в ней не заключается каких-либо причин, которые побудили бы ее двигаться скорее в одном, чем в другом направлении. Прямолинейность движения тела, предоставленного самому себе, очевидно, вытекает из того, что нет причины для уклонения точки скорее вправо, чем влево от первоначального направления: причина же равномерности движения тела не столь очевидна; так как природа движущей силы неизвестна, то невозможно знать а priori должна ли эта сила сохраняться непрерывно. Но так как тело неспособно сообщить самому себе движения, то кажется вероятным, что оно неспособно и изменить то движение, которое ему было сообщено; поэтому закон инерции представляется, по крайней мере, наиболее простой и естественной из всех мыслимых возможностей; он подтверждается, кроме того, и опытом².

«Так как сила познается только по тому пространству, на которое под ее влиянием перемещается тело в течение известного времени, то естественно взять за меру ее это пространство». Но это предполагает, что силы, действующие в одном и том же направлении, просто складываются. Однако при нашем незнании природы движущей силы, мы этого утверждать а priori не можем; поэтому и здесь мы должны обратиться за ответом к опыту».

«Таким образом, наблюдение дает нам здесь два закона движения, а именно: закон инерции и закон пропорциональности между силой и скоростью. Они являются наиболее простыми и естественными из мыслимых законов, и нет сомнения, они вытекают из самой природы материи. Но так как природа эта нам неизвестна, то оба закона являются для нас просто наблюдаемыми фактами — впрочем, единственными, заимствуемыми механикой из опыта»³.

«Как видим, вообще при взаимодействии тел действие и противодействие всегда равны и противоположны. Понятно, далее, что это равенство не предполагает наличия какой-либо особой силы в материи, оно вытекает лишь из того, что тело не может получить движения от действующего на него другого тела иначе, как, отняв у него это движение, подобно тому, как один сосуд заполняется жидкостью за счет другого, который ему эту жидкость передает».

«Вероятность теории может быть повышена частью уменьшением числа гипотез, положенных в ее основание, частью увеличением числа явлений, объяснимых теорией. Основное начало тяжести принесло обе эти выгоды теории движения Земли... Без него эллиптическая форма планетных орбит, законы, которым следуют движения планет и комет вокруг Солнца, их вековые и периодические неравенства, многочисленные неравенства в движении Луны и спутников Юпитера,

¹ Darstellung des Weltsystem durch P. S. Laplace, Frankfurt a. M. 1797, стр. 265.

² Там же, стр. 269 и сл.

³ Там же, стр. 270.

64 НАЧАЛО ТЯГОТЕНИЯ ПО ЛАПЛАСУ

предварение равноденствий, колебание земной оси, движения лунной оси и, наконец, приливы и отливы морей, были бы простыми несвязанными между собою результатами... *Но представляет ли собою это основное начало первичный естественный закон, или же оно есть только всеобщее действие неизвестной причины?* Здесь, за незнанием внутренних свойств материи, мы вынуждены *остановить всякую надежду ответить удовлетворительно на эти вопросы.* Вместо того чтобы строить гипотезы в этом направлении, мы ограничиваемся тем, что более подробно исследуем, каким образом геометры применили основное начало тяготения. Они исходили из следующих пяти предпосылок: 1) *что тяготение действует между малейшими частицами тела,* 2) *что оно пропорционально массам,* 3) *что оно обратно пропорционально квадратам расстояний,* 4) *что оно мгновенно передается от одного тела к другому и, наконец,* 5) *что оно действует одинаково как на покоящиеся тела, так и на тела, движущиеся в направлении, действия тяжести, хотя в последнем случае тела должны были бы как будто ускользать хоть отчасти от влияния последней»*¹.

Первая предпосылка представляет собою, как мы уже видели, необходимое следствие равенства действия и противодействия; правильность ее, равно как и второй предпосылки, доказана на опыте. Третья предпосылка имеет силу не только для одной тяжести, она представляет собой закон всех вообще истечений, исходящих из одного центра, каким, например, является свет. Этому закону следуют, по-видимому, все силы, действие которых проявляется на заметных расстояниях. Недавно было замечено, что электрические и магнитные притяжения и отталкивания убывают пропорционально квадратам расстояний». *«Мы не имеем средства измерить время распространения тяжести, потому что Солнце, после того как его притяжение однажды уже достигло планет, продолжает действовать на них таким образом, как будто притягательная сила его распространилась мгновенно до самых крайних границ нашей планетной системы...»* Однако по изменению влияния тяжести на тело, как по направлению, так и по скорости, можно сделать тот вывод, что сила эта действует со скоростью, которую можно назвать бесконечной, откуда следует, что притяжение доходит до крайних пределов нашей солнечной системы в почти неделимое по ничтожности своей мгновение».

«Между телами ничтожно малой величины притягательная сила исчезает, но между элементами тел она снова появляется в бесконечном разнообразии форм... Но тождественны ли в действительности эти силы (плотность, кристаллизация, химическое сродство) с наблюдаемым в небесных пространствах тяготением, и действительно ли они представляют собою на земле некоторые модификации тяготения, обусловленные видом мельчайших частиц? Чтобы принять такую гипотезу, следовало бы допустить, что тела содержат в себе гораздо больше пустого пространства, чем заполненного, так что плотность их частиц была бы несравнимо больше средней плотности их масс... *Промежутки между этими элементами тел были бы по своим размерам*

¹ Darstellung d. Weltsystem, стр. 203 и сл.

ПРОТЯЖЕННОСТЬ И НЕПРОНИЦАЕМОСТЬ МАТЕРИИ 65

*подобны промежуткам между гнездами туманного пятна, которое при таком взгляде можно было бы рассматривать, как большое светящееся тело. Ничто, впрочем, не препятствует нам смотреть на все тело именно таким образом. Многие явления и, между прочим, чрезвычайно легкое прохождение света через прозрачные тела во всевозможных направлениях, говорят в пользу такого воззрения». «Тогда сродство определялось бы формой соединяющихся частичек и многообразием таких форм можно было бы объяснить все различия притягательных сил, сведя, таким образом, все явления физики и астрономии к одному общему закону»... «Некоторые геометры, для объяснения химического сродства, ввели в выражение закона обратной пропорциональности между притяжениями и квадратом расстояний новые члены, получающие заметное значение лишь на очень малых расстояниях. Но такие члены выражали бы соответствующее число различных сил... при такой неопределенности представляется наиболее разумным в деле изучения законов сродства опереться на данные многочисленных опытов. *Всего проще, по-видимому, эта цель может быть достигнута сравнением названных сил с отталкивательной силою тепла, которая, в свою очередь, всегда может быть сравниваема с тяжестью.* Некоторые произведенные уже в данном направлении опыты позволяют надеяться, что этот закон будет со временем вполне установлен; тогда путем применения математического анализа, физика земных тел может быть доведена до той степени совершенства, какого достигла физика неба, благодаря открытию закона всеобщего тяготения»¹.*

Подобные же, а принципиально и вполне тождественные, взгляды развивает Био² в своих учебниках физики. Материя проявляет два существенных свойства, по которым мы узнаем о ее присутствии, *протяженность и непроницаемость*, свойства, которые познаются при помощи зрения и осязания. Непроницаемость, однако, присуща не самим телам, как таковым, а лишь малейшим частицам их, как это показывает делимость тел. Эти частички недоступны нашему опыту; но отсюда «никак не следует, чтобы форма и природа их не имела для нас значения, не влияла на свойства составленных из них тел». Наоборот, в предлагаемом сочинении читатель встретит много явлений, указывающих на действие подобных причин. Последние выступают, например, при расширении жидкостей, при их затвердевании, или еще резче, при кристаллизации солей. Метафизики и даже физики много спорили о том, *возможна ли делимость материи до бесконечности или нет*. Из предыдущего ясно, что этот вопрос не имеет для нас практического значения. Если понимать делимость в отвлеченном и геометрическом смысле, то, конечно, для нее не существует никакого предела. Ведь как бы мала ни была воображаемая; частица, уже самое понятие о ее протяженности влечет за собой возможность деле-

¹ Darstellung d. Weltsystem, стр. 211 и сл.

² Traité de physique expérimentale et mathématique, Paris 1816; Précis élémentaire de Physique expérimentale, Paris 1816; на немецкий язык переведено Фехнером (Fechner) под названием „Lehrbuch der Experimentalphysik, Leipzig 1824.

66 ТЕПЛОВОЕ НАЧАЛО КАК ПРИЧИНА ОТТАЛКИВАНИЯ

ния этой частицы пополам, каждой из этих снова на две части и т. д. до бесконечности. Что же касается реальной физической делимости, то о ней ничего сказать невозможно, так как ни один из имеющихся в нашем распоряжении экспериментальных методов не дает нам возможности получить в изолированном виде частицы тел и изучить их превращаемость».

«Но каким образом может подобная система частичек сохранять ту твердую неподатливую форму, в какой перед нами являются очень многие или даже все тела, если их поставить в надлежащие условия? В этом сочинении будет дальше показано, что такое состояние вызывается и поддерживается *естественными силами, которыми оживлены (animées) все частицы тела и при посредстве которых они стремятся друг к другу, как бы взаимно притягиваясь*. Но если бы здесь действовали одни эти силы, то частицы сблизилась бы до взаимного соприкосновения, пока свойственная им непроницаемость не положила бы предел дальнейшему сближению; в действительности же этого нет, потому что во всех телах частицы допускают как большое сближение, так и большее удаление. Мы узнаем, кроме того, *общую причину внутреннего отталкивания*, которым постоянно уравниваются все притягательные силы. *Причина эта, встречающаяся во всех телах, лежит, по-видимому, в тепловом начале*. Под действием этих противоположных сил частицы каждого тела приводятся в движение, а затем сами собой приходят в состояние равновесия, являющееся результатом компенсации их энергии; после этого частицы взаимно сближаются или удаляются друг от друга в зависимости от того, действуют ли внешние силы, которым они подвержены, в сторону отталкивания или притяжения. Подобным образом движутся и колеблются светила нашей планетной системы в их эллиптических и постоянно изменяющихся орбитах, не нарушая этим ни целостности системы, ни общего равновесия. Как дальше нами будет показано, на этих различных состояниях равновесия между частицами тел покоятся все вторичные и поддающиеся изменению свойства последних, как газообразное, жидкое и твердое состояния, кристаллическое строение, твердость, упругость и т. д.

Во всех подобных случаях материальные частицы ведут себя, как совершенно косные массы, т. е. как массы, лишенные самостоятельности какого бы то ни было рода. Они могут быть сдвинуты с места, приведены в движение и остановлены, но всегда сторонними причинами, лежащими вне них. В частицах нельзя открыть ни малейших следов самостоятельной и свободной воли». «Такое пассивное сохранение всякого данного состояния, такое отсутствие самостоятельности получило название косности или инерции (inertia)». «Опыт *открывает нам много других свойств материи, не вытекающих necessarily из ее сущности*, — свойств, которые не необходимы, чтобы сделать материю доступной нашим чувствам, но знание которых очень важно по следующей причине: будучи обычными спутниками основных условий материальности, они косвенно дают нам знать о существовании последних, когда условия эти почему-либо непосредственно недоступны для наших чувств».

ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОСТИ НАЧАЛ 67

*«Притяжение (attraction) тоже является одним из таких случайных свойств, которое может свидетельствовать о материальности тел, когда непосредственные чувственные восприятия не дают нам на этот счет никаких показаний. Выше я сказал, что частицы всех известных тел действуют друг на друга притягательными и отталкивательными силами. Обратно, доказанное присутствие или деятельность этих всеобщих сил в неизвестном нам начале дает нам право заключить о материальности этого начала. Так, например, свет неосязаем, в нем нельзя установить какого-либо расширения, он невесом, по крайней мере, для наших весов, он настолько тонок, что ускользает от всяких попыток уловить его и сделать осязательным для наших чувств. Но когда мы пропускаем свет через прозрачные тела, мы видим, что при прохождении он преломляется, изгибается, как будто его отталкивают силы, исходящие из поверхности тела, и, наоборот, притягивают частицы, из которых тело состоит. Совокупность этих явлений приводит нас, таким образом, к выводу, что свет есть *материальное начало*, состоящее из особенно мелких частиц, устроенных симметрично по отношению к некоторым плоскостям, проявляющих своеобразное притяжение и отталкивание и, наконец, движущихся в пустоте или в прозрачных телах с определенной поддающейся измерению скоростью».*

*«Существуют еще и другие начала, которые действуют на материальные тела, не будучи доступны прямо ни зрению, ни осязанию, ни взвешиванию на каких-либо весах, — начала, которые проявляют для наших чувств еще меньше материальности, чем свет, но о материальном характере которых, тем не менее, свидетельствуют столь же веские и даже еще более веские доводы. Таковы *неизвестные начала обоих электричеств*, так называемого смоляного и стеклянного».*

*«То же самое и с такою же вероятностью можно утверждать и относительно *обоих магнитных начал*, проявляющихся в различных металлах. Менее надежными данными мы обладаем относительно *материальности теплового начала*, которому часто дают название *теплорода* (caloricum). Ему не только не достает, как и предыдущим, тех доступных нашим чувствам признаков, по которым познается материя, но мы еще настолько мало знаем законы его движения и равновесия, что здесь вышеприведенные вероятные основания остаются неприложимыми. Опыт показывает, что тепло распространяется в телах, передается от одного тела к другому, поглощается телом и затем снова выделяется последним, видоизменяет расположение, расстояния и притягательные свойства частиц. Но все это еще не представляет неоспоримого доказательства, что тепловое начало само по себе является телом. Из существующих в пользу подобного мнения доводов наиболее сильным следует, пожалуй, считать установленные совсем недавно аналогии между свойствами излучения света и теплоты, аналогии, указывающие на то, что начала, лежащие в основании тепловых и световых ощущений, постепенно переходят друг в друга: другими словами, что они способны последовательно приобретать и терять те модификации, при помощи которых в нас вызываются те или другие*

68 СУЩНОСТЬ ТЕПЛОТЫ

ощущения»¹. Мы не будем здесь входить в рассмотрение *химической теории атомов* в том виде, как она впервые была обоснована и высказана Дальтоном², потому что это завело бы нас слишком далеко, тем более, что по началу эта теория была создана исключительно для нужд химии, и только при дальнейшем своем более широком развитии она получила важное общее значение.

ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ (приблизительно от 1780 до 1800 г.). Явления *скрытой теплоты и теплоемкости* побудили некоторых физиков уже в предшествующий период нашей науки принять существование *особого вещества теплорода*. Теория истечения света говорила в пользу принятия некоторого светового вещества; электрические и магнитные явления, в свою очередь, объяснились существованием особых жидкостей; так как наблюдения указывали, по-видимому, на то, что *теплота, подобно всякому иному веществу, способна химически соединяться с телами и выделяться из соединений*, то понятно, что мысль о существовании особого *теплого вещества* должна была привлечь на свою сторону большинство физиков. К своему переводу эйлеровых *«Писем к немецкой принцессе»* Криз (Kries) добавляет особый отдел, очень характерный для господствовавшего в то время отрицательного отношения ко всяким вообще волновым теориям. «Впрочем, свету приписали два свойства: способность светить и способность нагревать. Те, которые считали свет колебаниями эфира, полагали, что и теплота состоит из подобных же колебаний и движений, производимых эфиром в частицах тела. Но в новейшее время теплоту отделили от света и ее уже не считают непосредственным действием последнего.

Химики считают причиной теплоты особую материю, называемую ими теплородом, которая обладает особым сродством к свету, соединяется с последним и становится благодаря этому более сильным деятелем, сообщая, в свою очередь, и свету согревательную силу». Кроме того, наблюдались такие действия света, которых никак нельзя было объяснить одними колебаниями, при наличии которых становится, наоборот, *более чем вероятным*, «что в очень многих естественных процессах свет принимает участие как составная часть, как нечто телесное... Так, при посредстве света можно из зеленых листьев деревьев и кустов, положенных в воду, получать очень чистый газ, который называют дефлогистированным воздухом. Однако та же вода, те же листья и та же температура, в отсутствии света, не дают ничего...» Отсюда видно, что «свет обладает силой вызывать в некоторых телах разложение некоторых их составных частей, т. е. действовать подобно многим другим химическим веществам, природа которых не заключается в колебаниях»³.

Чем больше, однако, накоплялось гипотетических жидкостей для объяснения различных физических явлений, тем труднее становилась

¹ Lehrbuch der Experimentalphysik, стр. 5—25.

² John Dalton, A new system of chemical philosophy, London 1808; 2-е изд. London 1842.

³ Leonh. Euler's Briefe, Leipzig 1792, 1, стр. 241—244.

ВЗГЛЯДЫ ДЕЛЮКА НА ТЕПЛОТУ 69

характеристика каждой из них; для теплорода же оказалось особенно трудным установить его отношение к световой материи. Представляет ли *теплород* только *видоизменение* последней, или это, действительно, *особое первичное вещество* и, если да, является ли он веществом *простым* или *сложным*. Между этими крайними течениями мнения колебались очень долго.

Химики-флогистики прямо отождествляли теплород с *флогистоном*; но когда было доказано, что последнего вообще не существует, отпала, конечно, и эта гипотеза. Делюк пытался в своих «Nouvelles Idées sur la Météorologie» (Paris 1787) («Новые идеи в метеорологии») выставить теплород сложным веществом, чтобы таким путем объяснить связь между светом и теплотой. Он высказал следующее предположение: *теплород, как все упругие жидкости, состоит из тяжелого основного вещества и «расширяющей» материи (fluide déférent), весомой части теплорода соответствует огневая материя, которую никогда нельзя получить в отдельном виде; другую часть его составляет световое вещество. Соединяясь с огневой материей, световое вещество теряет способность светить, но зато их соединение приобретает способность нагревать*. Подобно тому как водяные пары распадаются при их сжатии на воду и теплород, так и последний, будучи сгущен в телах до известной степени, распадается, по крайней мере отчасти, на свои составные части, выделяет световое вещество и становится светящимся. Солнечные лучи сами по себе не теплы, они возбуждают у нас ощущение тепла лишь после того, как в телах соединяются с огневой материей в теплород. Этим объясняется *низкая температура на высоких горах*, темнота солнечного ядра, несмотря на *окружающую его световую сферу*, может быть, также *различие климатов под одинаковыми широтами* и т. п. Хотя воззрения Делюка нашли много ревностных приверженцев, но они исчезли из науки скорее, чем этого можно было ожидать, судя по первоначальным их успехам.

Основная причина этого заключается в сложности их начал. Там, где можно обойтись одной гипотетической жидкостью, незачем допускать существование двух жидкостей. Поэтому, *в конце концов, за теплородом осталось значение простой элементарной «расширяющей» жидкости, совершенно отличной от всех прочих веществ и находящейся лишь к световой материи в некотором, хотя и очень еще неясном, отношении*.

Крауфорд в своем знаменитом сочинении о теплоте ¹ осторожно обошел вопрос о конечной причине тепловых явлений. Однако Лихтенберг решительно утверждал, что в основе названного сочинения лежит допущение особого теплового вещества. Химики и физики того времени дали этой новой материи, являющейся причиной всех тепловых явлений, название теплорода (*caloricum, calorique*), которое за ним и осталось до конца. Лавуазье сообщает в своем «Traité élémentaire de chimie» (Paris 1789) («Элементарный курс химии»): «Когда со-

¹ *Crawford*, Exper. and observ. on animal heat and the inflammation of combustible bodies, London 1779; 2-е изд., London 1788.

70 ВОПРОС О ТЯЖЕСТИ ТЕПЛОТЫ

вместно с де-Морво, Бертолле и де-Фукруа мы поставили себе задачей исправить химическую номенклатуру, то причину теплоты, ту в высшей степени упругую жидкость, которая производит тепло, мы обозначили словом *calorique*»¹.

Поскольку новое вещество не могло быть отождествлено с другими веществами и не вступало с ними в какие-либо соединения, о природе его больше рассуждать не приходилось; но тем настоятельнее выступал вопрос о его свойствах и, прежде всего о *тяжести теплорода*.

Многочисленные взвешивания привели к противоречивым результатам. Так, Бойль, Бюффон, позднее Марат² и др. вывели из своих опытов заключение, что вообще нагретые тела тяжелее холодных; другие же физики, как Уайтгерст и Ребук, Фордайс, Гютон де-Морво и др., пришли к противоположному результату. Но вскоре затем установили, что данная задача не была решена ни той, ни другой стороной.

Наблюдаемые случаи *увеличения веса* правильно объяснили *окислениями и другими химическими изменениями* при нагревании тел; а тесовую убыль — опять-таки правильно — действием воздушных токов, поднимающихся от нагретого тела вверх. В самом деле, графу Румфорду³ удалось показать, что если при взвешивании тщательно избегать всех упомянутых выше влияний, то от нагревания тел не получается ни приращения, ни убыли веса. Таким образом пришлось отказаться от мысли, что теплород имеет какую бы то ни было тяжесть, положительную или отрицательную, и перевести его, подобно свету, магнитным и электрическим жидкостям, из категории обыкновенной материи в разряд невесомых. Лишь немногие физики, пытавшиеся сохранить за тяжестью общий и существенный признак материи, продолжали утверждать, что теплород может все-таки иметь некоторый вес, но слишком малый, чтобы быть доступным для наших весов.

Однако и такая частичная *имматериализация* теплорода не могла спасти его от крушения; очень выдающиеся физики и химики высказывали большое сомнение в его существовании, некоторые же склонялись к волновой теории теплоты. *Развитие теплоты от трения* раньше объясняли как *прямое выжимание теплорода* из тела, подвергнутого трению, и самый этот факт считался прямым доказательством существования теплорода. Позднее это явление стали уже более тонко объяснять *уменьшением теплоемкости* тел при трении, а образование теплоты истолковывалось как ее *освобождение из химически связанного состояния*. Но вот выяснилось, что *трением двух тел можно получить неопределенно большие, быть может, даже неограниченные количества тепла*; тогда, конечно, оба эти объяснения стали совершенно невозможными.

¹ *Rühlmann, Mechanische Wärmetheorie, Braunschweig 1885, II, стр. 894.*

² *Jean Paul Marat [(1743—1793), знаменитый герой Великой французской революции, убитый Шарлоттой Кордэ], Découvertes sur le feu, l'électricité et la lumière, Paris 1779.*

³ *Philosophical Transactions, LXXXIX, 1799.*

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТ ТРЕНИЯ 71

Бенджамин Томпсон ¹ сделал в 1778 г. ², при опытах над силой пороха, замечательное наблюдение, что пушечный ствол от холостых выстрелов нагревается сильнее, чем от выстрелов со снарядами, тогда как следовало как будто ожидать обратного ввиду того, что в последнем случае горячий газ дольше остается в соприкосновении со стенками орудия. Несовместимость этого явления с гипотезой теплорода была замечена Томпсоном, но различные обстоятельства помешали ему продолжать тогда свои опыты. Лишь 20 лет спустя он приступил к новым опытам, которые еще яснее показали несостоятельность гипотезы теплорода ³. Следя за сверлением пушек в мастерских Мюнхенского военного цейхгауза, Томпсон (тогда уже граф Румфорд) с удивлением заметил огромное развитие тепла при кратковременном сверлении. Чтобы подробнее исследовать это явление, он велел приготовить из пушечного металла цилиндр в 9,8 дюйма длиною, 7,75 дюйма толщиной и высверлить в нем канал длиною в 7,2 дюйма, шириною в 3,7 дюйма. В канал было затем введено почти целиком заполнившее его тупое стальное сверло и прижато к цилиндру с силой около 10 000 фунтов. Когда при этих условиях сверло было приведено во вращательное движение со скоростью 32 об/мин, то уже через 30 мин. или после 960 оборотов вставленный сбоку в цилиндр термометр показал повышение температуры с 60 до 130° Фаренгейта; при этом отделившиеся стружки весили всего 837 аптекарских гранов. Румфорд тотчас же понял, что пришло время разрешить вопрос, существует ли огневая жидкость. *Откуда получается здесь такое значительное количество тепла?* Дают ли его стружки, оторванные от твердой металлической массы? Но тогда, согласно новейшим воззрениям, должна была бы понизиться теплоемкость стружек и притом настолько, чтобы за счет этого понижения могла образоваться вся полученная теплота. Между тем, судя по данным опыта, это казалось невозможным. Затем оставалось еще предположить, что теплота развивается, может быть, из воздуха, вступающего при сверлении внутрь цилиндра. Чтобы разрешить этот вопрос и совершенно закрыть воздуху доступ в цилиндр, весь прибор был погружен в сосуд с водою. Количество последней составляло 2,5 галлона или 18,77 фунтов. После этого, к общему изумлению всех присутствующих, температура воды поднялась

¹ Benjamin Thompson родился от бедных родителей 23 марта 1753 г. в Румфорде (теперь Конкорд) в Нью-Гемпшире. Научное образование он получил в Сев. Америке в Кембриджском колледже. Во время войны за независимость юн был на стороне англичан. После заключения мира вернулся в Англию и получил титул сэра. В 1785 г. он поступил на службу к Баварскому курфюрсту Карлу Теодору, который пожаловал ему в 1790 г. титул графа Румфорда. Румфорд оказал Баварии большие услуги основанием мануфактур, введением экономического отопления и пр. По смерти Карла Теодора в 1799 г., Румфорд вернулся в Англию, где в 1800 г. принял участие в организации Royal Institution. В 1803 г. он переселился в Париж, где женился на вдове Лавуазье. Умер он 24 августа 1814 г. в Отеле (Auteuil) близ Парижа.

² Philosophical Transactions, LXXI, 1781.

³ Philosophical Transactions, LXXXVIII, 1798; „An inquiry concerning the source of the heat which is excided by friction", доклад был прочитан 25 января 1798; „Essays, political, economical and philosophical", London 1796 до 1803; на немецком языке, Weimar 1800 до 1805.

72 ОПЫТЫ ДЭВИ. КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ

спустя 1 час с 60° до 107°, спустя 1,5 часа до 142°, спустя 2 часа до 170°, а спустя 2,5 часа вода начала кипеть. Этим, по мнению Румфорда, было доказано, что *из тела можно получить теплоту в неограниченном количестве «без перерыва или пауз и без всяких признаков ослабления или истощения»*. Но отсюда, далее, следовало, что теплоту совершенно нельзя считать веществом: то, что всегда может быть в неограниченном количестве получено за счет движения, должно быть, в свою очередь, движением; *а потому все тепловые явления следует рассматривать, как явление движения*.

Опыты Румфорда были частично повторены, подтверждены и расширены Гемфри Дэви¹, получившим впоследствии столь большую известность химиком, который уже в первом своем сочинении *«Essay on heat, light and the combinations of light»* («Опыты по теплоте, свету и соединениям света») выступил решительным противником гипотезы теплорода.

Дэви приводил в трение два куска льда, укрепленных на массивных железных стержнях, и не только констатировал таяние льда от образующейся теплоты, но и нашел, что температура образовавшейся воды оказалась выше температуры окружающего воздуха. А так как теплоемкость воды выше теплоемкости льда, то образовавшаяся теплота, очевидно, не могла получиться за счет уменьшения теплоемкости при трении. Затем, под откачанным колоколом воздушного насоса², обложенным льдом, он привел в движение при помощи часового механизма металлическое колесо, которое терлось о металлическую пластинку; при этом температура настолько повысилась, что воск расплавился³. Так как в данном случае прибор не содержал в себе воздуха и не был окружен воздухом, а был обложен льдом, то теплород не мог проникнуть в прибор извне и не мог также освободиться в результате химических процессов. Этим Дэви считал гипотезу о тепловом веществе окончательно опровергнутой и несколько лет спустя прямо высказался за колебательную *теорию теплоты*⁴.

Так как объем всякой материи может быть уменьшен путем охлаждения, то между частицами материи, очевидно, должны существовать *свободные промежутки*; так как, далее, всякое тело может сообщить другому более холодному телу силу расширяться, т. е. сообщить его

¹ Davy родился 17 декабря 1778 г. в Пензансе (Корнваллис), сын бедного резчика по дереву. В 1795 г. поступил учеником к врачу и аптекарю. В 1798 г. получил место химика при Pneumatik Institution д-ра Беддаеса в Клифтоне около Бристоля. В 1801 г. — преподаватель химии в Royal Institution в Лондоне. Женившись в 1812 г. на богатой женщине, он оставил это место и жил частным лицом, много путешествуя. Умер он 29 мая 1829 г. в Женеве.

² Находится в „Contributions to phisical and medical Knowledge“, collected by Th. Beddoes; Bristol 1799. Также в „The collected works of sir Humphry Davy“, т. II.

³ Чтобы получить *совершенный вакуум*, Дэви перед откачиванием наполнил колокол угольной кислотой и после откачивания поглотил остатки газа едким кали. Насколько я знаю, этот прием, в настоящее время часто применяемый для получения наиболее сильного разрежения воздуха, был Дэви употреблен впервые.

⁴ Elements of chemical philosophy, London 1812, стр. 93 и сл.

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ; ЕЕ ПОДДЕРЖКА ЮНГОМ 73

частицам отталкивательное движение, то представляется в высшей степени вероятным, что *его собственные частицы находятся в движении*. А ввиду того, что пока температура остается постоянной, частицы не меняют своих мест, движение это — если оно существует — должно быть *волнообразным или вращательным... По-видимому, все тепловые явления поддаются объяснению, если принять, что в твердых телах частицы находятся в непрерывном колебательном движении, с тем большими скоростями и тем большими размахами, чем сильнее нагрето тело; что в капельных и упругих жидкостях кроме колебательного движения, которое в последних, вероятно, является наиболее сильным, существует еще движение частичек с различными скоростями около собственных осей, причем частицы упругих жидкостей движутся с наибольшей скоростью; и, наконец, что в эфиробразных веществах частицы вращаются около собственных осей отдельно друг от друга, пролетая в пространстве по прямым линиям*. Таким образом можно думать, что температура зависит от скорости колебаний, повышение теплоемкости происходит вследствие увеличения пространства, в котором происходит движение, а понижение температуры при превращении твердых тел в жидкости или газы — вследствие ослабления колебательного движения, являющегося результатом вращения частиц около своих осей, начинающегося в тот момент, когда тело становится жидким или газообразным; последнее может быть также объяснено уменьшением скорости колебания вследствие того, что размахи колебаний частиц становятся больше».

Томас Юнг, возродивший волновую теорию света, был, конечно, безусловным приверженцем этой новой теории тепла. Уже в своей работе «On the theorie of light and colours» («О теории света и цветов») он говорит ¹: «Долгое время существовало твердо установившееся мнение, что теплота заключается в колебании частиц тел, распространяющемся волнообразно в пустоте, но в последнее время этот взгляд был почти совсем оставлен. Граф Румфорд и мистер Дэви — почти единственные физики, которые высказались в пользу этой теории; но мне кажется, что она была отвергнута без достаточных оснований, и может быть, скоро она снова получит признание». В своих «Lectures on natural philosophy» (1807 г.) («Лекции по естественной философии») он уже более подробно высказывается в пользу волновой теории теплоты и, в конце концов, приходит к убеждению, что *свет и теплота состоят из совершенно одинаковых колебаний, отличающихся лишь тем, что тепловые колебания медленнее световых — и что доводы в пользу волновой теории теплоты даже сильнее доводов в пользу волновой теории света* ². Тем не менее, эти мысли Юнга встретили со стороны физиков столь же мало внимания, как и его усилия преобразовать оптику.

Несовместимость опытов Румфорда и Дэви с идеей теплового вещества, конечно, была совершенно ясна, так что попытки Уильяма

¹ Philosophical Transactions, 1802; перепечатано в A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts, London 1807, II стр. 623—624.

² Lectures on natural philosophy, London 1807, I, стр. 651—657.

74 ВОЗВРАТ К ТЕПЛОРОДУ ЛУЧИСТАЯ ТЕПЛОТА

Генри, Бертолле, И. Майера и др. примирить это несогласие встречали мало веры даже в кругу их единомышленников. Но, с другой стороны, принятию теории Румфорда мешало то обстоятельство, что она так же мало объясняла сильно занимавшие всех явления теплоемкости и скрытой теплоты, казавшиеся притом и более важными и в теоретическом и в практическом отношении, как гипотеза теплорода мало объясняла появление теплоты от трения. Румфорд, правда, пытался вывести из своей теории *теплоту плавления*. Он полагал, что твердое тело становится жидким, когда движение его частиц усиливается настолько, что эти частицы перестраиваются в новые независимые друг от друга системы; необходимое для этого добавочное движение не может быть утрачено. Оно должно оставаться постоянно в жидкости и должно выявиться, когда жидкость затвердевает¹.

Но это объяснение теплоты плавления, не отличающееся ни ясностью, ни определенностью, казалось еще менее применимым для объяснения удельной теплоты. Таким образом тот *факт, что теплота вступает в различные вещества в различных, но совершенно определенных количествах и выделяется из них в таких же количествах по истечении любого времени*, заставил большинство физиков вернуться к *тепловому веществу*; при этом получение теплоты от трения оставалось единственным темным еще неразъясненным пунктом на чистом небосклоне этого учения. В конце концов, физики не без успеха стали обходить этот темный пункт с помощью кратких замечаний. Так, в учебнике физики Био по поводу опытов Румфорда мы встречаем следующее не совсем понятное с точки зрения изложенного выше замечание²: «Когда Румфорд... исследовал стружки, образовавшиеся при сверлении бронзовой пушки, оказалось, что они имеют ту же удельную теплоемкость, как самая бронза, хотя при их образовании освободилось огромное количество тепла; отсюда следует, что *теплота эта находилась только между твердыми частицами бронзы, т. е. между маленькими группами тех частиц, которые были отделены сверлом*».

Свои воззрения на природу теплоты Румфорд естественно пытался подкрепить еще какими-нибудь другими аргументами, кроме теплоты трения; такой новой поддержкой он считал *открытое только что явление лучистой теплоты*. Но здесь он имел еще меньше успеха, чем прежде. В то время как свет считали возможным объяснять лишь с точки зрения истечения, но *было* никакого основания рассматривать тепловые лучи как явление волнообразное. После того как Шееле установил название и понятие лучистой теплоты, этими явлениями бо-

¹ An inquiry concerning the nature of heat and the mode of its communication Philosophical Transactions, 1804. Как приведенные выше слова Румфорда, так и позднейший его вывод о *сохранении сумм живых сил* во вселенной свидетельствуют о гениальности автора; тем не менее, обоим его сочинениям, вследствие их незаконченности нельзя приписать решающего значения для дальнейшего развития науки. Ср. R. Rühlmann, Mechanische Wärmetheorie, Braunschweig 1885. II, стр. 892 — 893.

² Biot, Lehrbuch d. Experimental physik, übersetzt von Fechner, IV, стр. 295, 1825.

ТЕОРИЯ ТЕПЛОВОГО ЛУЧЕИСПУСКАНИЯ 75

лее подробно занялся Пикте¹. Он установил два вогнутых зеркала из полированного олова, в 1 фут диаметром, с фокусным расстоянием в 4,5 дюйма, параллельно друг другу на расстоянии 12 футов. Когда в фокусе одного зеркала был помещен нагретый, но не раскаленный шарик в 2 дюйма диаметром, то поставленный в фокусе другого зеркала термометр показал повышение температуры до 13,12° С, между тем как стоявший рядом, но вне фокуса, термометр оставался на 3,12° С. После того как шарик термометра был покрыт сажей, термометр показал большее повышение температуры. При применении стеклянных зеркал вместо металлических ничего подобного не замечалось. Заменяя в фокусе зеркала нагретое тело холодным, он получал на термометре другого фокуса понижение температуры². Пикте пытался также измерить *скорость распространения тепла*, помещая для этого стеклянную пластинку между зеркалами и затем быстро удаляя ее, но, конечно, без всякого результата. Прево³ из опытов Пикте вывел теорию *теплого лучеиспускания*. Подобно тому, как всякое светящееся тело испускает световые лучи, так и всякое нагретое тело испускает тепловые лучи, распространяющиеся в пространстве прямолинейно, т.е. не встретят тела, которое их отражает, пропускает или поглощает. *Таким образом каждое тело излучает постоянно теплоту и получает благодаря такому же излучению теплоту от окружающих тел*. Отношение между обоими этими количествами теплоты определяет температуру тела⁴.

Новым и очень интересным методом, в большей степени экспериментальным, чем теоретическим, определил отношение между тепловыми и световыми лучами знаменитый астроном Фридрих Вильгельм Гершель⁵. Он поместил очень чувствительные термометры в каждой из семи ньютоновских цветных полос солнечного спектра и наблюдал, насколько повысится температура в каждой из этих полос над температурой окружающего воздуха. Таким путем было установлено, что температура в синей полосе повысилась больше, чем в фиолетовой, в зеленой больше, чем в голубой и т. д., вплоть до красной, где повышение температуры оказалось выше, чем во всех остальных местах.

¹ Marc Auguste Pictet родился 23 июля 1752 г. в Женеве, умер 19 апреля 1825 г. в Женеве, ученик и друг Соссюра, после которого он в 1786 г. занял профессорскую кафедру в Женевской академии. Издавал с 1796 г. „Bibliothèque britannique“, название которой он в 1816 г. изменил на „Bibliothèque universelle“.

² Essai sur la feu, Genf 1790 г. (на немецком языке Versuche über das Feuer, Tübingen 1790).

³ Mém. sur l'équilibre du feu; „Journal de physique“, XXXVIII, 1791. Позднейшие опыты в Essai sur le calorique rayonnant, Genf 1809.

P. Prevost родился 3 марта 1751 г. в Женеве, умер 8 апреля 1839 г. в Женеве; с 1780 по 1784 г. — член академии и профессор философии в Берлине, затем — профессор философии и физики в Женевской академии.

⁴ Cp. A. Riggenbach, Grundbegriffe der Wärmefortpflanzung, Wissensch. Beilage z. Bericht über das Gymnasium. Basel 1884.

⁵ Investigation of the power of the prismatic colours to heat and illuminate objects; Philosophical Transactions, 1800. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the Sun, там же. Experiments on the solar and on the terrestrial rays that occasion heat, там же. Кроме того, „Gilbert's Ann.“. VII, стр. 137; X, стр. 68; XII, стр. 522.

76 ТЕМНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ЛУЧИ

спектра. Но, что важнее всего, и здесь оно не было наивысшим, *максимум его оказался несколько дальше области красных лучей — вне пределов всего видимого спектра.* Чтобы изолировать эти невидимые темные лучи, он направил полученный с помощью призмы спектр солнца на собирательную чечевицу, наполовину прикрытую папкой, таким образом, что видимая часть спектра целиком падала на папку и красный конец спектра лежал еще на расстоянии $\frac{1}{10}$ дюйма от края папки. Тогда термометр, помещенный в фокусе чечевицы, повысился за 1 мин. с 57 до 102° F, тогда как стоявший рядом термометр продолжал показывать 57°. Замечательно, что при этом шарик термометра казался подернутым красноватым светом, который исчез лишь после того, как красный конец спектра был отодвинут от края папки на $\frac{1}{5}$ дюйма. Однако и теперь термометр дал повышение температуры в течение 1 мин. с 57 до 78° F. Этими и другими опытами *Гершель считал не только установленным существование темных тепловых лучей, но и доказанным, что последние отражаются и преломляются по тем же законам, что и световые лучи*¹.

Против защитников лучистой теплоты вообще и против Гершеля, в особенности, выступил очень резко Джон Лесли. Он утверждал, что преломляемость абсолютно связана с видимостью, что понятие невидимых тепловых лучей содержит в себе внутреннее противоречие (*contradictio in adjecto*), и объяснил явления, наблюдаемые Гершелем, как результат прямой передачи тепла от видимого спектра к соседним частям, а, может быть, также и воздуху. Еще в 1813 г. он продолжал стоять на своем, утверждая, что, когда нагретое тело передает теплоту соседним частям воздуха, последние сначала расширяются, а потом, сжимаясь, передают теплоту соседним слоям. Таким образом *передача тепла от тела к телу совершается при посредстве колебаний воздуха, а не путем излучения*². Однако ему никого не удалось обратить в свою веру, после того как Дэви (равно как и некоторые другие еще до него) доказал, что *тепловое излучение через разреженный в 120 раз воздух втрое сильнее, чем через атмосферный воздух*, а Риттер своими опытами над влиянием различных частей спектра на хлористое серебро бесспорно доказал, что в солнечном свете помимо

¹ Фридрих-Вильгельм Гершель родился 15 ноября 1738 г. в Ганновере, отправился в качестве музыканта в 1757 г. в Англию. В 1765 г. был органистом, в Галифаксе, а в 1766 г. — в Бате. В Галифаксе он принялся изучать акустическое сочинение Р. Смита и с этой целью стал заниматься математикой. Уже в Бате он занялся устройством телескопов, и первый прибор его был готов в 1774 г. 13 марта 1781 г. он открыл планету Уран и потом сделался приватным астрономом короля Георга III. Его дальнейшие астрономические работы касаются физической природы *планеты Марса, двойных звезд, туманных пятен, звездных скоплений, луны, колец и полос Сатурна, Урана с его спутником, силы света звезд, физической природы Солнца и т. д.* Кроме физических исследований 1800 г. о световых и тепловых лучах он опубликовал в промежутки 1807—1810 гг. работы о ньютоновских цветных кольцах и других аналогичных явлениях. Умер он 25 августа 1822 г. близ Виндзора.

² „Nickolson's Journal" 1800; Descript. of on hygrometer and photometer, Ezp. on light a. heat. Inquiry into the nature of heat, London 1804. A short acc. of, Exp. a. Instr. dep. on the Relation of Air to heat. a. moisture, Edinburgh 1813. Частично также в „Gilbert's Ann.", V; X; XV.

ОТРАЖЕНИЕ И ИЗЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОТЫ 77

тепловых лучей существуют еще и другие *темные лучи, действующие химически*¹. Тем не менее работы Лесли по лучистой теплоте очень ценны, так как в них впервые даны более точные показания о *количествах излученной теплоты*. Для своих опытов Лесли пользовался устроенным им *дифференциальным термометром и кубиком, названным его именем*. Последний представлял собою полую кубической формы коробку из листовой латуни или меди, со сторонами в 4—6 дюймов. Из четырех боковых поверхностей этого куба, по возможности тождественно сделанных снаружи, одна оставалась большею частью полированной, вторая покрывалась сажей, третья покрывалась писчей бумагой, а четвертая — слоем кронгласа. На верхней поверхности находилось отверстие с конической трубкой, через которую можно было вливать холодную или теплую воду и вводить термометр. При посредстве такого куба и поставленного на известном расстоянии от него термометра Лесли определил излучающую способность многих веществ и привел полученные им результаты в следующей таблице:

Сажа.....	100	Лед.....	85
Вода.....	100	Ртуть.....	20
Писчая бумага.....	98	Блестящий свинец.....	19
Кронглас.....	90	Полированное железо	15
Китайская тушь.....	88	Олово, серебро, медь, золото	12 ²

Опыты Румфорда³, которые он начал в 1803 г., и результаты которых он сообщил Парижской академии в 1804 г., были совершенно аналогичны только что приведенным. Он применил для этой цели цилиндры с блестящей металлическою поверхностью; наполняя их теплою или холодною водою, а снаружи покрывая сажей, порошком серебра и пр., он наблюдал действие их на изобретенный им *термоскоп*. Подобно Лесли, он нашел, что чем лучше поверхность отражает тепловые лучи, тем меньше она излучает теплоты. Результаты его опытов были признаны столь же важными, как результаты опытов Лесли, ссылкам же его на волновую теорию теплоты по-прежнему не придавали значения.

Прибор Лесли для измерения теплового лучеиспускания, *дифференциальный термометр*, состоит из двух равных по величине стеклянных шаров, соединенных дважды изогнутой стеклянной трубкою. Шары заполнены воздухом, стеклянная трубка в нижней своей части содержит столбик окрашенной жидкости (серная кислота и кармин), перемещающийся при расширении или при сжатии воздуха в том или

¹ „Gilbert's Ann.", VII, стр. 627, 1801; XII, стр. 409, 1802. Одновременно с Риттером темные химические лучи открыл *Wollaston*, „Gilbert's Ann.", XXXIX, стр. 291.

² John Leslie родился 16 апреля 1766 г. в дер. Ларго, Файфшир в Шотландии, умер 3 ноября 1832 г. там же, обратил на себя своими способностями к геометрии внимание Робисона, Плефера и Стьюарта; учился в Эдинбурге, затем занимался литературными работами и переводами в Лондоне. В 1804 г. — профессор математики, а с 1819 г. — и физики в Эдинбурге.

³ Mémoires sur la chaleur, Paris 1804. Также An inquiry concerning the nature of heat and the mode of its communication, Philosophical Transactions, 1804. Извлечение в „Gilbert's Ann.", XVII, стр. 33 и 213, 1804.

78 ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ТЕПЛОТЫ

другом шаре. Диаметр шаров колеблется в разных приборах от 4 до 7 парижских линий, высота вертикальных колен соединительной трубки от 3 до 6 дюймов, а длина горизонтальной части была несколько меньше высоты.

Термоскоп Румфорда отличался от дифференциального термометра только относительными размерами частей, но эти изменения нельзя не признать известным усовершенствованием прибора. Здесь горизонтальная часть трубки была значительно длиннее вертикальных, а показателем служила лишь капля окрашенного спирта. Диаметры обоих шаров были значительно больше, и, наконец, *между шарами* устанавливался экран из золоченной бумаги, не пропускающей тепла. По показанию самого Лесли он устроил свой дифференциальный термометр между 1797 и 1799 гг., описание же его появилось в третьем томе никольсоновского журнала в 1800 г. Но мы уже раньше заметили, что Штурм в своей «Collegium experimentale» описал по существу такой точно прибор, и, следовательно, Лесли мог знать и данное сочинение и описание прибора Штурма ¹. Румфорд описал свой термоскоп лишь в 1804 г. в той же работе, в которой он опубликовал свое исследование о лучистой теплоте; но и прибор Лесли стал известен в широких кругах только в том же году благодаря описанию, приведенному в его работе. Как бы то ни было, оба прибора действительно оказались очень удобными для исследования лучистого тепла, *так как температура воздуха, действуя одинаково на оба шара, не влияет на показания, — лучистая теплота действует таким образом одна.*

Однако Лесли придавал своему прибору гораздо большее значение, предлагая употреблять его не только в качестве термометра, но также в качестве *этриоскопа* (для измерения теплового лучеиспускания небесного пространства), *фотометра* и *гигрометра*. Значительная чувствительность этого прибора вызвала преувеличенные надежды, и прибор долгое время высоко ценился физиками того времени. Позднее, однако, постепенно выяснилось, что, в сущности, он не вполне пригоден ни для одной из указанных выше целей. Во-первых, лучистая теплота, проникая через стекло, не только ослабляется, но и качественно изменяется; во-вторых, показания его зависят не только *от расширения воздуха*, но также *от расширения жидкости*, так что показания эти ни в коем случае не пропорциональны разности температур; в-третьих, несмотря на все усилия, не удалось добиться того, чтобы показания различных приборов оказались *сравнимыми* между собою. Тем не менее, до открытия термоэлектрического столба этот прибор, за отсутствием лучшего, продолжали применять для измерения лучистого тепла. В качестве фотометра его пытался улучшить Ритци еще в 1825 г. В качестве гигрометра он оказался полезным не столько сам по себе, сколько благодаря удачному плану его применения.

Соссюр заметил, что со всякой данной водной поверхности испарение на суше происходит сильнее, чем с такой же поверхности,

¹ Ср. Poggendorf, Geschichte der Physik, стр. 440.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ; ГИГРОМЕТРИЯ 79

находящейся посередине озера, а отсюда сделал вывод, что *величина испарения зависит от степени влажности окружающего воздуха в данный момент*¹. Лесли использовал это умозаключение в обратном смысле: он смочил один из шаров своего прибора и попытался на основании охлаждения (вследствие испарения), показываемого прибором, судить о степени влажности атмосферы. Но так как шкалу дифференциального термометра не удавалось привести в достаточное согласие со шкалой обыкновенного термометра, то Людике уже в 1802 г. («Gilbert's Ann.», X, стр. 110) попытался осуществить мысль Лесли иным более удачным способом. С этой целью на одной общей шкале были укреплены два термометра, и трубка одного из них была так изогнута, что шарик приходился под шариком другого термометра. В первом из них было сделано углубление, и в него наливалась капля жидкости, испарение которой вызывало охлаждение. Однако и это предложение не обратило на себя внимания, и физики долго еще пользовались в качестве гигрометра прибором Делюка или Соссюра, так как при искусном устройстве показания этих приборов все-таки удавалось до известной степени согласовать. Делюк, после многократных неудачных испытаний, избрал в качестве гигрометрического вещества пластинку из китового уса 8 дюймов длиной и 0,5 линии шириной, вырезанную, однако, не вдоль продольных волокон, а в поперечном направлении. Точки шкалы, соответствующие наибольшей влажности, он определил погружением прибора в воду; вторую же постоянную точку ему долго не удавалось найти, так как он опасался подвергнуть свой прибор действию огня. Впоследствии Делюк определил точку наибольшей сухости, продержав свой прибор в течение суток подвешенным в оловянном ящике, частично заполненном негашеной известью. Шкалу между обеими этими точками он разделил на 100°. Первый еще несовершенный прибор из китового уса с одной только постоянной точкой он представил Парижской академии в 1781 г., а вскоре затем устроил более совершенный прибор².

Соссюр³ избрал в качестве гигрометрического вещества мягкий белокурый, но не вьющийся, человеческий волос, освобожденный от жира получасовым кипячением в растворе соды с последующим затем кипячением в чистой воде. Точку наибольшей влажности на своей шкале он определил, поместив прибор над тарелкой с водой под стеклянным колпаком со смоченными внутри стенками. Если по истечении 3—6 час. прибор не устанавливался на определенном положении, волос признавался негодным, равным образом, если поступательное движение показателя прерывалось обратным движением. Точка наибольшей сухости определялась помещением прибора в высушенное

¹ Versuch über das Hygrometrie, Leipzig 1784, стр. 282—283.

² Nouv. idées sur la Meteorologie, Paris 1787; A second paper on hygrometrie Philosophical Transactions, LXXXI, 1791.

³ Horace Benedict de Saussure родился 17 февраля 1740 г. близ Женевы, умер 22 января 1799 г. в Женеве. С 1762 по 1764 гг. — профессор философии в Женевской академии. Между 1758 и 1779 гг. много путешествовал с геологическими и метеорологическими целями по Альпам, Юре и другим странам. Европы [(Voyages dans les Alpes, Genf 1779—1796), по-немецки 1781—1796].

80 ГИГРОМЕТР СОССЮРА

пространство под герметически закрытым ртутью колоколом, куда вводилась, кроме того, накалившая почти докрасна полоса железа ¹.

Гигрометр Соссюра нашел многих сторонников и очень часто применялся, но встречал также и горячих противников. Каминелло, астроном в Падуе, применял для гигрометра ствол пера, заполненный ртутью и затем выскобленный. За это изобретение он получил премию от Мангеймской академии наук. Каминелло отказывал гигрометру Соссюра как в правильности ухода, так и в постоянстве обеих точек. Джианбатиста де-Сан-Мартини предлагал взамен волоса кожу, употребляемую позолотчиками, как продукт более дешевый и более подходящий. Наконец, Делюк утверждал, что постоянные точки гигрометра могут быть правильно определены только по его способу и что волосы, подобно всем телам, вырезанным по длине волокон, представляют очень большие неправильности хода. Соссюр возражал всем своим оппонентам, что они брали для своих гигрометрических опытов негодные волосы, а специально по поводу гигрометра Делюка указал, что китовый ус, как тело, пропитанное жиром, плохо воспринимает влажность, вследствие чего приборы этого рода в насыщенном влагой воздухе показывают лишь 80°. После этого было сконструировано множество гигрометров со всевозможными гигроскопическими веществами, например, с шелковыми и пеньковыми нитями, волокнами дерева, с лентами из лягушечьей кожи, из крысего пузыря и т. п.; однако ни один из них не достигал даже той степени точности, которою обладали приборы Соссюра и Делюка. Все эти гигрометры в еще большей мере, чем приборы Соссюра и Делюка, показывали неравномерный ход и имели ненадежные твердые точки. Впоследствии из упомянутых двух гигрометров первенство осталось за соссюровским. Био говорит в своей «Экспериментальной физике» ²: «Соссюр применил приготовленные таким образом волосы для устройства гигрометров, носящих его имя и внесших в исследования этого рода недостижимую до тех пор точность». Все прочие виды гигрометров он обходит молчанием.

Наряду с изготовлением сравнимых между собою пирометров уделяется много внимания устройству *термометрографов* или *максимальных и минимальных термометров*. Первый прибор такого рода описал лорд Чарльз Кавендиш (отец знаменитого химика) в *Philosophical Transactions*, 1757. Максимальный термометр представлял собою обыкновенный ртутный термометр, заполненный поверх ртути спиртом. Заостренная сверху термометрическая трубка была вмазана в шарик с выкачанным из него воздухом. При повышении температуры спирт переходил из трубки в шарик, но вернуться назад при охлаждении не мог; таким образом о наибольшей температуре можно было судить по количеству спирта, перешедшего в шарик. Устройство минимального термометра было несколько сложнее, но основано на том же принципе. Прибор этот действовал правильно, но точность определения температуры затруднялась разнородностью термометрических жид-

¹ Essai sur hygrométrie, Neufchâtel 1783, в немецком переводе, Leipzig 1784.

² Lehrbuch der Experimentphysik, Leipzig 1825, 1, стр. 282.

СПОРЫ О ТЕПЛОТЕ И ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОЗДУШНОГО ШАРА 81

костей; поэтому он вскоре был вытеснен двумя последующими новыми формами, хотя основная идея его впоследствии была много раз использована. Эти два новых прибора¹ — термометрограф Сикса и максимальный и минимальный термометр Рутерфорда — настолько общеизвестны и настолько подробно описаны в любом учебнике физики, что описывать их здесь было бы излишне. Сикс описал изобретенный им термометр в *Philosophical Transactions* 1782, а позднее в отдельной работе. Рутерфорд дал описание своего прибора в *Edinburgh Philosophical Transaction*, 1794.

Споры о тяжести и легкости теплоты, об испарении воды и поднятии облаков в воздухе повели к открытию, которое, хотя и не имело явного отношения к теории теплоты, но было произведено после многократных попыток только при помощи теплоты, а именно: к *изобретению воздушного шара*. Дальнейшее развитие последнего целиком относится к области техники, и притом оно было описано в столь многих широко распространенных работах, что я здесь коснусь лишь ранней истории этого изобретения, а также некоторых соприкасающихся с ним фактов и соображений.

Желание человека летать по воздуху, вероятно, столь же старо, как самый человеческий род. Ближайшим поводом к такому желанию служил, конечно, полет птиц; поэтому со времен Дедала до наших дней существует много рассказов о людях, предпринявших полеты при посредстве *метательных* аппаратов, более или менее похожих на крылья птиц. К сожалению, в этих рассказах больше описываются самые полеты, чем примененные для этого машины. Наиболее известна летательная машина венского часовщика Якоба Дегена, описавшего ее в отдельном сочинении 1808 г.² Прибор этот имел два крыла, остовом которых служили бамбуковые трости, а поверхностью лакированная бумага. Длина каждого крыла была 10 футов 4 дюйма, наибольшая ширина 9 футов. В каждом крыле было 3500 бумажных клапанов, открывавшихся шелковыми шнурами книзу, чтобы пропускать воздух при поднятии крыла кверху. Все в целом было солидно прикреплено к отвесному стержню при помощи шелковых шнуров. Плоскость крыльев приходилась приблизительно на высоте шеи летчика (при стоячем положении последнего), а остов прибора прикреплялся к его туловищу. Движение крыльев вызывалось тем, что человек, производя движения ногами, как при прыжках, нажимал на раму. При опытах в императорском манеже для верховой езды в 1808 г., Деген уменьшил свою нагрузку на 75 фунтов с помощью противовеса, перекинутого через блок, прикрепленный к потолку, и поднялся за полминуты 34 взмахами крыльев на высоту 50 футов. Позднее он заменил противовес маленьким воздушным шаром, который сам по себе едва был способен поднять его на воздух, и, как уверяют, оказался в состоянии не только производить различные движения в воздухе, но,

¹ James Six — член Королевского общества, умер в 1793 г. Daniel Rutherford {1749—1819) был врачом и профессором ботаники в Эдинбурге.

² Beschreibung einer Flugmaschine von Jacob Degen, bürgerlichen Uhrmacher, Wien 1808; сведения об этой машине приведены также в „Gilbert's Ann.“, XXX, стр. 1 и XXXI, стр. 192.

82 ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШАРА

отпустив шар, во время медленного спуска был даже в состоянии немного подниматься вверх при помощи взмаха своих крыльев¹. Но, конечно, держаться долго в воздухе вместе со своей машиной он собственной силою не мог. Правда, нельзя еще считать окончательно установленным, насколько рабочая сила человека вообще способна поднимать его тело в воздухе, — отдельные опыты Дегена позволяют лишь думать, что мгновенным усилием человек может несколько подняться на воздух; но если принять во внимание работоспособность человека при плавании и лазании, учитывая при этом, что никакая машина не может дать выигрыша в силе, то легко понять, что *одною собственной силою человек подняться на воздух не может*. Физик Бабине² говорит: «если силы одной лошади достаточно для того, чтобы поднять человека среднего веса в 1 сек. на высоту 1 м, то вчетверо или впятеро меньшая сила человека не поднимет веса последнего в 1 сек. более чем на $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{5}$ м. Но тело наше в течение такого же времени по заколу тяжести падает вниз на 5 м, следовательно, для того чтобы держаться в воздухе, нужна была бы сила в 20—25 раз больше. Поэтому с математической точки зрения летание человека немыслимо; для этого он должен пользоваться посторонними силами». Другими словами, ему не остается ничего другого, как *прикреплять себя к телам, которые легче воздуха и которые могут поддерживать его в последнем*. Но такими телами могут быть лишь полые тела, либо совсем пустые, либо наполненные веществами легче воздуха. О пустых телах, которые теоретически представляются наиболее выгодными, стали думать тотчас же после того, как научились получать вакуум. Уже в 1670 г., т. е. едва спустя 20 лет после изобретения воздушного насоса, иезуит Франческо де-Лана³ предложил изготовить четыре полых тонкостенных шара из меди, выкачать из них воздух и прикрепить к ним воздушный корабль. Но предложение это, конечно, не было осуществлено, так как ни медь, ни другое какое-либо из известных нам веществ, при достаточной для подъема легкости, не могли бы выдержать давления воздуха. Поэтому Жозеф Гальен в своем сочинении «L'art de naviguer dans les aires» (Avignon 1755) («Искусство воздухоплавания») сделал другое предложение: наполнять большие полые шары более легким, чем обычный воздух, газом, хотя бы, например, атмосферным же воздухом, взятым из высших слоев. Последняя часть предложения может, конечно, только вызвать улыбку, но первая, несмотря на то, что она тогда показалась еще невозможной, вскоре была осуществлена. В 1766 г. Генри Кавендиш открыл газ более легкий, чем атмосферный воздух;

¹ 13 и 15 ноября 1808 г. Деген дал в Пратере два представления. „Он мог по произволу опускаться, когда, не производя движений крыльями, он держал их распростертыми горизонтально. Опускание происходило столь медленно, что никто из зрителей при этом не испытывал страха, а Деген имел время несколько передохнуть и затем новыми взмахами крыльев снова подняться. Кроме того, летчик был в состоянии поворачиваться в воздухе, выдвигая для этого одну из рукояток вперед, а другую назад" („Gilbert's Ann ", XXXI, стр. 200).

² Luftreisen von I. Glaisher etc, Leipzig 1872, стр. 162.

³ Prodronio all'arte maestra, Brescia 1670.

ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ШАРА 83

а уже два года спустя известный шотландский химик Блек указал, что тонкостенные полые шары, наполненные этим легким горючим газом, водородом, должны подниматься в воздухе. В 1782 г. итальянцу Кавалло, после тщетных опытов с бумажными шарами и свиными пузырями, опыт с мыльными пузырями, наполненными водородом, действительно удался. Говорят, что и братья Монгольфье работали сначала с водородом, но безуспешно, так как примененные ими оболочки не были достаточно плотны¹. Отказавшись от водорода, они, однако, не оставили основной задачи и решились последовать в этом деле процессу поднятия облаков в воздухе. После многочисленных опытов они приготовили цилиндрические или призматические тела с двойною стенкою из холста и бумаги, снизу открытые, а сверху закрытые. К раме отверстия были по диагоналям прикреплены бруски, а там, где последние перекрещивались, была поставлена жаровня.

5 июня 1783 г.² в Анноне, на торговой площади, они зажгли в жаровне смесь соломы, бумаги и шерсти и в воздух поднялась машина, диаметром в 35 футов, весившая сама по себе 450 фунтов и поднявшая еще 400 фунтов груза. Она поднялась приблизительно на высоту 1000 футов и упала на расстоянии 12 000 шагов от места своего подъема. Слух об этом удачном опыте распространился очень быстро. Парижская академия, получив протокол этого опыта, учредила особую комиссию для обсуждения нового открытия; но прежде чем последняя приступила к работе, Бартеlemi Фожа де-Сен-Фон³ собрал значительную сумму денег на производство опытов, и уже 27 августа 1783 г. Жак-Александр-Сезар Шарль⁴, которому было поручено руководство этими опытами, организовал подъем воздушного шара с Марсова поля в Париже. Парижский шар не был, однако, простым воспроизведением монгольфьевовского, а представлял собою совершенно новое *изобретение*. Несмотря на множество известий о машине Монгольфье, внутреннее устройство ее было очень мало известно, и это обстоятельство оказалось в данном случае полезным. Благодаря этому машина Шарля оказалась устроенной не только по-иному, но и лучше. Монгольфьеры (так называли эти летательные приборы) были сначала цилиндрические, шарльеры же вполне шаровидные; стенки первых были сделаны из полотна, подбитого бумагой, и отдельные части его соединялись только пуговицами, так что стенки не были непроницаемы для воздуха; шарльеры же были изготовлены из тафты, покрытой лаком (*gummi elasticum*, растворенный в терпентине), изобретенным Шарлем, и потому непроницаемы для воздуха.

¹ Joseph Michel Montgolfier (1740—1810)— бумажный фабрикант в Анконе потом — администратор в парижском Conservatoire des Arts et Métiers. Jacques Etienne Montgolfier (1745—1799) сначала — архитектор, потом — совладелец бумажной фабрики.

² Уже в 1783 г. вышли в свет: *Joseph et Etienne Montgolfier, Discurs sur l'aéostat*, Paris 1783; *Faujas de Sain-Fond, Descriptions des experiences aérostat de MM. Montgolfier*. т. II, Paris 1783.

³ Barthélemy Faujas de St Fond (1741—1819 гг.), в рассматриваемое время — адъюнкт-натуралист при Парижском музее, — чиновник горного ведомства.

⁴ Jacques Alexandra Cesar Charles (1746—1823), в то время — профессор физики в Conservatoire des Arts et Métiers.

84 ОТКРЫТИЕ «ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО» ЯВЛЕНИЯ

Еще важнее было то, что Монгольфье наполняли свой шар нагретым воздухом, делая из этого секрет и давая повод думать, что они применяли для этого особый газ. Шарль же употребил для этой цели водород, несмотря на трудности его получения в большом количестве в те времена. Диаметр его шара составлял 12 футов 2 дюйма, весил он 26 фунтов, за 2 мин. он поднялся приблизительно на высоту 488 туазов, затем исчез в облаках и упал в 5 лье от Парижа возле деревни Гонесс, вследствие разрыва оболочки, происшедшей, вероятно, от слишком сильного наполнения газом. Поселяне, оправившись от страха, встретили метавшееся перед ними чудовище цепами и вилами, так что прибывшему туда Шарлю удалось увидеть лишь клочья своего шара.

ЖИВОТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО (приблизительно от 1790 до 1800 г.). После того как вызванные открытием электрической машины, лейденской банки и т. п., порывы энтузиазма улеглись и радужные надежды, связанные с этими открытиями, значительно ослабели, было произведено внезапное, без всяких предвестников и без всяких видимых причин, новое открытие в области электричества, которое повлияло на судьбу физики сильнее всех прежних. Виновника этого открытия почтили тем, что перенесли его имя на новую отрасль физической дисциплины, *гальванизм*.

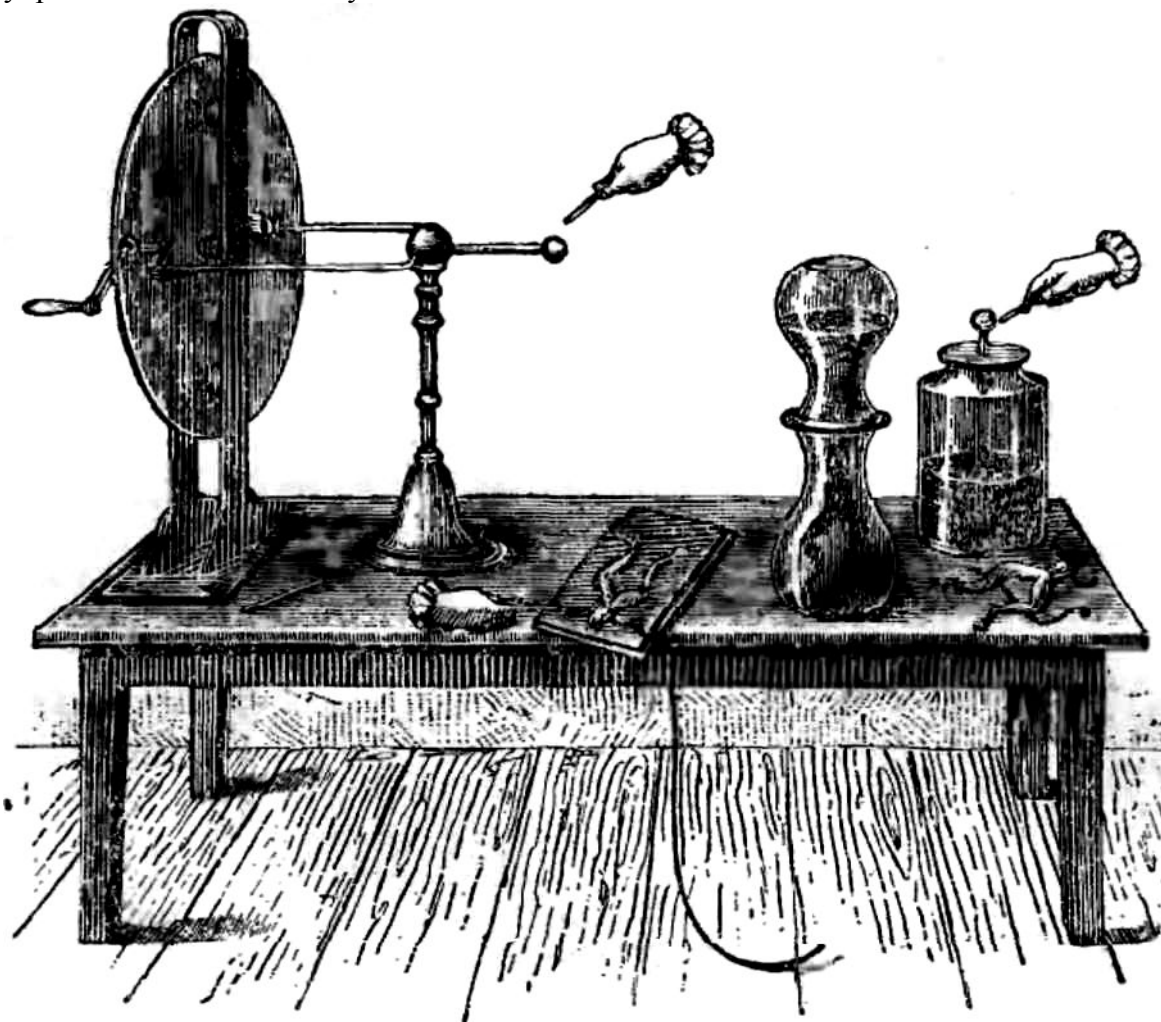
Первое известие об этом открытии Гальвани сам сообщил ¹ в небольшой работе «De viribus electricitatis musculari commentanus» (Comment. Bonon., VII, 1791) ² («О влиянии электрических сил на движение мускулов животных»). Многие физики относят начало работ Гальвани по этому вопросу к 1780 г.; но начальные слова Гальвани в приведенном сочинении делают это мало вероятным ³. «Мне хотелось,— говорит Гальвани, — издать в свет сочинения хотя бы в несовершенной и незаконченной... но, по крайней мере, не в первоначально грубой, едва начатой форме. Но так как я почувствовал, что у меня не хватит на это ни времени, ни досуга, ни умственных сил, я предпочел пользу дела своему естественному желанию». Повод к своему открытию он описывает так: «Я разрезал лягушку... и положил ее без всякого умысла на стол, где стояла электрическая машина, отдельно от кондуктора, на довольно значительном расстоянии от последнего. Но когда один из моих слушателей приблизил острие ножа к бедренному нерву, мышцы всех конечностей вдруг сократились, как от сильной судороги. Другой из присутствовавших утверждал, что это явление произошло лишь тогда, когда кондуктор дал искру. Он очень удивился этому новому явлению и рассказал мне о нем, так как я был занят в это время чем-то совершенно другим. У меня явилось жела-

¹ Louigi Galvani родился в Болонье 9 сентября 1737 г., с 1762 г. был профессором медицины в родном городе. Он занимался преимущественно сравнительной анатомией и физиологией. В 1797 г. за отказ присягнуть вновь учрежденной Заальпийской республике он лишился места; но незадолго до смерти это место было ему вновь предложено. Умер он в 1798 г. в Болонье.

² Aloysi Galvani, Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektricität auf die Bewegung der Muskeln, übersetzt von Dr. Johann Mayer, Prag 1793.

³ Судя по сохранившейся в Болонье надписи на памятной доске дома, где жил Гальвани, он наблюдал в первый раз сокращения мышц лягушки в сентябре 1786 г. на балконной решетке этого дома.

ние тотчас же увидеть это новое явление и расследовать его скрытую причину». Упомянутый «другой из присутствовавших» заставлял впоследствии многих ломать себе голову над вопросом, кто бы это мог быть. В Болонье утверждали, что это была жена Гальвани, которой в сущности и принадлежит честь открытия явления. Замена слова «другой» именем определенного лица, конечно, увековечила бы последнее; но упрекать Гальвани за такую забывчивость все-таки нельзя.

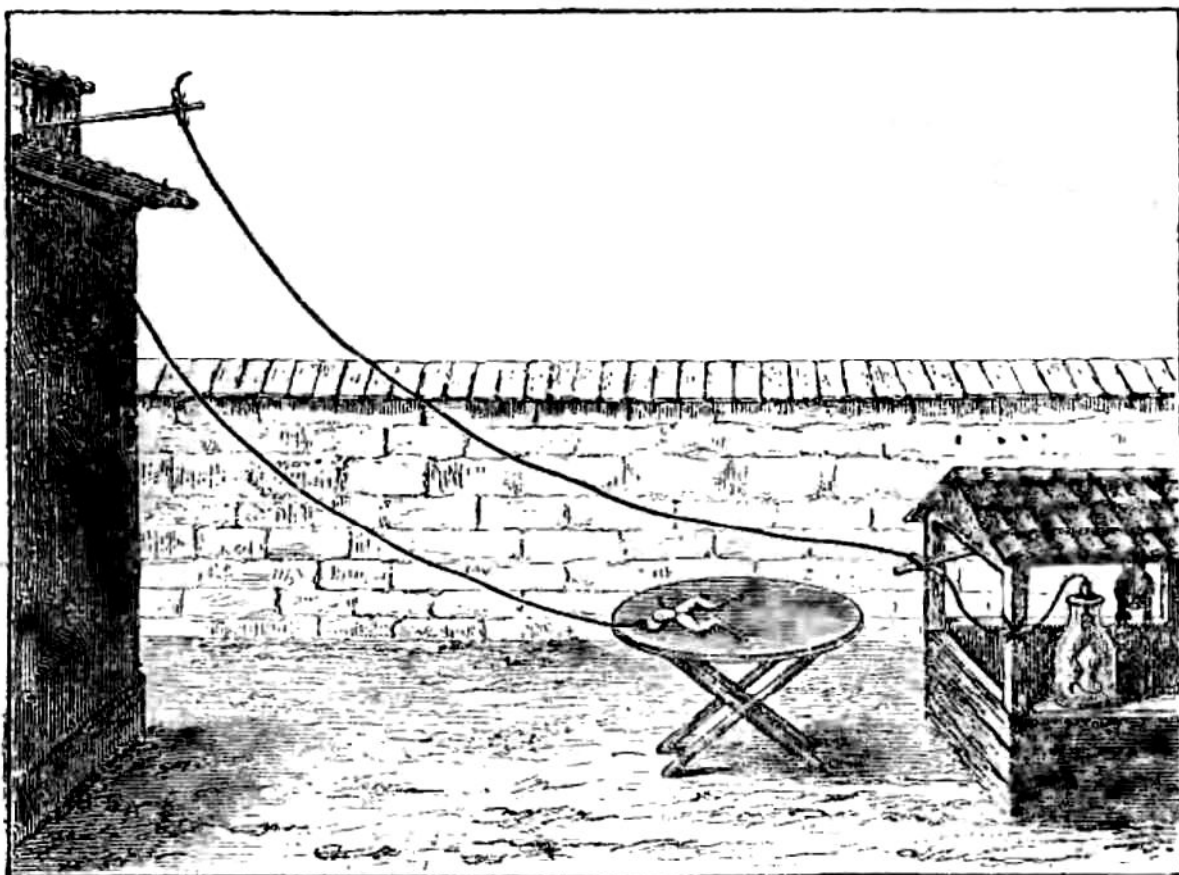


Черт. 1.

То явление, которое наблюдал «другой», представляло собою не более как особую форму общеизвестного тогда влияния разрядов электричества (от трения при прохождении их через тело животного); а то обстоятельство, что здесь искра машины действовала не прямо, не должно было показаться удивительным, после того как стало известно электрическое влияние на расстоянии (черт. 1). Во всяком случае, сам Гальвани не разделял сильно распространенного и до сих пор, но ложного, мнения, будто в этом наблюдении уже заключалось открытие нового вида электричества. Он лично с большим усердием занялся всесторонним исследованием влияния знакомых источников электричества на мускулы животных. И только после продолжительных многократных и тщательных опытов Гальвани пришел к неожиданным результатам: он констатировал, что сокращения происходят лишь в то время, когда из машины извлекаются искры; что сокращения бывают более или менее сильны, независимо от напряжения

ОПЫТЫ С ЛЯГУШКОЙ

электричества машины, смотря по тому, прикасается ли рука к костяной рукоятке ножа, или к его железной оправе, или, наконец, к железным гвоздям. Опыты с железными прутьями и сухими стеклянными палочками ясно показали, что для воспроизведения явления необходимо *прикосновение к нерву при помощи проводящего тела, и притом достаточно большого*. Сообщение мышц с неизолированным телом или отведение их при помощи проволоки к земле в высокой степени способствовало получению сильных сокращений. В соответствии с этим Гальвани установил различие между нервными и мышечными



Черт. 2.

кондукторами как факторами, необходимыми для наступления мышечных сокращений или, по крайней мере, способствующими им¹. Сокращение оказалось до известной степени в *прямом отношении как к силе искры и животного, так и к силе кондукторов, особенно нервного; но в обратном отношении к расстоянию от кондуктора машины*. Искры отрицательного электричества не отличались по своему действию от искр положительного: искры электрофора действовали так же, как искры от машины. Соприкосновение с нервами, отпрепарированными на живом животном, давало такие же сокращения, как и на умерших животных. Теплокровные животные тоже давали сокращения, но обыкновенно несколько более слабые, чем холоднокровные. Затем Гальвани исследовал *действие естественных электрических искр*, а именно *молнии* (черт. 2). С крыши дома была спущена длин-

¹ Прилагаемый черт. 1, взятый из первой таблицы сочинения Гальвани, показывает расположение этих кондукторов.

ИДЕЯ О ЖИВОТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ 87

пая проволока, которая была присоединена к нервам задних конечностей лягушки. Другой проводник (мышечный кондуктор), присоединенный к мышцам такого же препарата, был спущен в колодезь вплоть до воды¹. «Как только появлялись молнии, тотчас же мышцы приходили в сильные сокращения, которые совпадали по времени с молнией и предшествовали грому. Согласие явлений было настолько велико, что сокращения происходили и в случае, когда мышечного кондуктора не было или нервный был изолирован». *Сокращения происходили и без молний*, если только небо было покрыто тучами, или когда облака проходили невысоко над нервным кондуктором. Но тогда и поставленные рядом электрометры показывали присутствие электричества. После этого Гальвани постарался выяснить, не действует ли и *нормальное атмосферное* электричество на мышцы лягушки, оказавшиеся до сих пор столь чувствительным электроскопом. «Так как мне часто случалось вешать приготовленных для опытов лягушек на окружавшую наш дом *железную* решетку при помощи железных крючков, проткнутых через спинной мозг, и я заметил сокращения мышц не только во время молнии, но также в ясную тихую погоду, то я полагал, что причина этих явлений лежит в дневных колебаниях атмосферного электричества. Поэтому я стал наблюдать препараты в разные часы в течение нескольких дней подряд, но едва заметил несколько сокращений в мускулах. *Утомленный ожиданием, я изогнул и плотно прижал к решетке крючок, пропущенный через спинной мозг*, чтобы видеть, не удастся ли теперь вызвать мышечные сокращения и не получится ли каких-либо изменений в связи с различными состояниями атмосферы и электричества. *Теперь сокращения появлялись нередко, однако, вне всякой связи с изменением состояния атмосферы или электричества*. Но так как сокращения эти наблюдались мною лишь на открытом воздухе (в других местах я этих опытов еще не делал), то легко было приписать их атмосферному электричеству, которое входит в животное, скопляется здесь и сильно разряжается при соприкосновении с решеткой». *До этих опытов мысль о новом источнике электричества еще не появлялась в уме Гальвани, поворот наступил лишь тогда, когда Гальвани решил повторить те же самые опыты в закрытом помещении*². «Когда я, — продолжает Гальвани, — внес лягушку в комнату, положил ее на железную пластинку и приблизил к последней крючок, проткнутый через спинной мозг, то получились прежние движения, прежние сокращения. Затем мною было испробовано то же самое с различными металлами, в различных местах, в разные дни и часы, и всегда результат получался одинаковый; разница была лишь в том, что от различных средств получались и различные сокращения, в одних случаях сильнее, в других слабее. Непроводящие тела вовсе не давали сокращений. Этот результат нас очень удивил, и мало-помалу мы пришли к мысли о *при-*

¹ Прилагаемый черт. 2 срисован со второй таблицы упомянутого сочинения Гальвани.

² В сохранившемся традиционном изложении играет большую роль *медный* крючок и *железная* решетка, но в рассказе самого Гальвани я не нашел и следа такого рода указаний.

88 МЫШЦА — ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ БАТАРЕЯ

сущем животному электричестве. Предположение это усилилось еще более, когда мы во время явления стали замечать как будто перемещение тонкой нервной жидкости из нервов в мышцы, подобное такому же перемещению в лейденской банке. Именно, когда я держал препарированную лягушку одной рукой за крючок, пропущенный через спинной мозг таким образом, что ноги лягушки касались серебряной чашки, а другой рукой прикасался при посредстве металлического тела к верхнему краю или к бокам серебряной чашки, на которой находились ноги лягушки, то животное, вопреки всякому ожиданию, приходило в сильнейшие сокращения и это происходило неизменно каждый раз при повторении этого опыта». Последний опыт Гальвани видоизменил таким образом, что лягушку держал он сам, а прикасался к серебряной чашке другой. Тогда явление не имело места; но стоило наблюдателям взяться за руки и образовать цепь, сокращения появлялись при каждом прикосновении. Еще красивее, однако, был следующий опыт. «Если держать лягушечий препарат с крючком в спинном мозгу приподнятым за одну ногу и опустить на серебряную пластинку таким образом, чтобы другая нога и крючок прикоснулись к серебру, то вследствие сокращения мышц свободная нога подпрыгивает, затем опускается и, коснувшись серебряной пластинки, опять подпрыгивает и т. д., представляя к немалому удивлению и удовольствию наблюдателей подобие электрического маятника». Для удачи опыта не нужно и металлической пластинки, — достаточно соединить металлической дугой бедренный нерв с мышцами. *Замечательно при этом, что если применять для этого один и тот же металл, то движения чисто получают слабые, или их даже вовсе не бывает; но стоит только ввести в цепь кусок меди или, еще лучше, серебра*¹*, и сокращения делаются тотчас же более сильными и продолжительными.* Всего сильнее получают мышечные сокращения, если нерв обложить оловянной фольгой (станиолем) и наложить проводящую дугу. Тогда в цепь можно ввести даже несколько человек без заметного ослабления движения. Вероятно, на обкладке, как в лейденской банке, своеобразное животное электричество скопляется сильнее, чем без нее. Но где, собственно, находится это электричество, находится ли одно из них в мышце, а другое в нерве, или же оба они находятся в мышце, и из какой части оно течет, определить чрезвычайно трудно. Если, однако, можно себе позволить высказывать предположения в таком темном деле, то я склоняюсь к мысли, что местопребывание обоих электричеств следует искать в мышце... Если стать на эту точку зрения, то не покажется уже ни натянутым, ни невероятным гипотетическое уподобление мышечного волокна маленькой лейденской банке или какому-либо другому телу, заряженному двумя противоположными электрическими зарядами, а именно уподобление нерва кондуктору банки, *а, следовательно, всей мышцы — значительному количеству лейденских банок*». Гальвани приводит целый ряд свойств животного электричества, в подкрепление только что приведенной па-

¹ „Из всех металлов серебро кажется нам наилучшим проводником для животного электричества“.

ОТКРЫТИЕ ГАЛЬВАНИ И ЕГО ПРИЕМ ФИЗИКАМИ 89

раллели, упоминает и о таких, которые находятся с ней в противоречии, но, в конце концов, приходит к следующему выводу: «Итак, да позволено нам будет следовать этой не слишком невероятной гипотезе, *которую, однако, мы тотчас же оставим, когда другие ученые выскажут более верное суждение о предмете* или установят лучшую гипотезу на основании открытий и новых опытов». После того, как Гальвани, сравнив еще открытое им животное электричество с электричеством рыб и с электричеством от трения, установил их различие, он перешел к наиболее интересному для него, как для анатома, объяснению движений *животных электричеством и к применению его для лечебных целей*. Из мозга исходят импульсы, нарушающие равновесие обоих электричеств сначала в нерве, а потом, так как нерв хороший проводник, и в соответствующих мышцах. Но, как показывают опыты с искусственным электричеством, каждое нарушение равновесия в мускулах вызывает сокращение мышц. Что же касается лечения болезней при помощи искусственного электричества, то оно может быть осуществлено таким образом, что искусственному электричеству, в зависимости от характера болезни, можно дать направление одинаковое или уже противоположное с естественным животным электричеством, соответственно усиливая или ослабляя этим действия последнего.

Таким образом Гальвани с несомненной гениальностью разрешил очень большую задачу. *Несмотря на трудности, он открыл существование непрерывного электрического тока в цепи, составленной из металлов и лягушечьих мышц, установил ряд его свойств и правильно определил на опыте влияние на этот ток металлов, а равно и тела животных*. За то, что он ошибся в определении действительного источника этого электричества, он поплатился своею славой в большей мере, чем бы следовало; во всяком случае, сильно распространенное мнение, будто он с самого начала применил для своих опытов два разнородных металла и, следовательно, обладая известной даровитостью, должен был бы придти к мысли о контактном или металлическом электричестве, совершенно неверно. Считая металлы в этих явлениях только проводниками, он употреблял медь или серебро наряду с железом *только из-за их большей проводимости*. Впоследствии эти опыты удавались ему и без применения металлов, когда он даже препарирование мышц производил стеклянными ножнами. Действительно открытое им и не признанное его противниками животное или физиологическое электричество помешало ему заметить, что в большинстве прежних его опытов наблюдаемые им явления вызывались не этим электричеством, а другим, более сильным металлическим электричеством.

Открытия Гальвани произвели огромное впечатление и вызвали ряд последователей. В письме от 5 апреля 1792 г. д-р Евсей Валли подтверждает опыты Гальвани и описывает электричество множества различных животных, особенно таких, которые были им умерщвлены каким-нибудь необыкновенным образом. В том же письме он сообщает, что Вольта («один из первых авторитетов в области электричества, гений между физиками») очень усердно занимается этими вопросами. Сам Вольта описал эти работы в письме к миланскому

90 РАБОТЫ ВОЛЬТЫ ПО ГАЛЬВАНИЗМУ

врачу от 3 апреля 1782 г. Подобно Гальвани, он находит, что лягушки наиболее чувствительны, если обнаженные бедренные нервы обложить тонкой металлической пластинкой. Тогда для их сотрясения достаточны такие слабые заряды лейденской банки, которых уже нельзя измерить электрометром, и которые, следовательно, соответствуют не более $\frac{1}{10}^\circ$ беннетовского (с золотыми листочками) электрометра. Далее он констатирует, что *лягушки действительно представляют собою самый чувствительный из всех существующих до сих пор электроскопов*. Как в этом письме, так и в двух последующих, помещенных в том же 1792 г. в «Giornale fisico-medico Brugnatelli» он является *сторонником животного электричества*; но уже и здесь чувствуется, что он скоро покинет путь, которому следовал Гальвани. Перечисляя условия, при которых происходят сокращения мышцы, Вольта говорит: *«В-третьих, эти обкладки должны состоять из разнородных металлов, одна — из свинца или олова, другая — из золота, серебра, латуни и железа. Разнородность металлов совершенно необходима; если же применяется один металл, то, по крайней мере, его необходимо прикладывать возможно различным образом»*. При этом, в согласии с наблюдениями Гальвани, он отмечает, что вообще наличие двух металлов способствует явлению, и полагает, что если оно происходит и при наложении дуги из одного металла, то, вероятно, в данном случае металл на всем своем протяжении не вполне однороден. Наконец, он делит металлы в зависимости от того, как они распределяют животное электричество, на три класса, а именно: 1) олово и свинец; 2) железо, медь, латунь и 3) золото, серебро и платина. Позднее Вольта указывает на то, что сокращения можно вызвать не только на целых животных или на отдельных членах, но даже на отдельных кусочках мышц, если только применить разнородные обкладки. «Если последние состоят с одной стороны из плотно наложенного листка станиоля, а с другой — из серебряной обкладки, которая лишь прикасается к члену, то опыты удаются лучше всего». Наконец, в этих же сообщениях находится совершенно новое открытие Вольты. Разнородные обкладки вызывают иногда при прохождении электрической материи через мускулы языка не сокращения, *а вкусовые ощущения*. Чтобы вызвать последние, лучше всего плотно наложить гладкую полоску станиоля на кончик языка, а на середину или на другую часть языка положить серебряную или золотую монету, или вообще какой-нибудь предмет, сделанный из этих металлов, и затем соединить обе эти обкладки. Тогда, смотря по роду металлов, получается более или менее сильный кислый вкус¹. «Замечательно, что этот вкус длится все время, пока олово и серебро сообщены между собою, и даже постоянно нарастает в силе. Это показывает, что переход электрической материи с одного места на другое происходит непрерывно... Не менее замечательно и то, что с переменой места обкладок, т. е. если на кончик языка положить серебро, а на середину

¹ Johann Georg Sulzer (1720—1779) уже в 1752 г. („Des plaisirs dessens", Hlstoire de l'Acad., Berlin 1751, стр. 356) описал этот опыт ввиду своеобразия получаемого ощущения, но не дал ему никакого объяснения.

ВОЛЬТА ОТВЕРГАЕТ ТЕОРИЮ ЖИВОТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 91

языка олово или серебряную бумагу, изменяется и характер вкуса, ощущение на кончике языка тогда уже не кислое, а скорее щелочное, резко приближающееся к горькому». *Вольта ожидает многого от этого открытия*, но, не желая вдаваться в область предположений, пока остается исключительно на почве опытов.

И в самом деле, уже в следующем году (в том же бруньятеллевском журнале) он описывает новое интересное и многообещающее видоизменение того же опыта. «При помощи тех же различных обкладок, которыми вызывается ощущение вкуса, мне удалось вызвать *и ощущение света*. — Я накладываю на глазное яблоко конец оловянного листочка, беру в рот серебряную монету или ложку и затем привожу обе эти обкладки в соприкосновение при помощи двух металлических острий. Этого оказывается достаточно, чтобы тотчас же или каждый раз, как производится соприкосновение, получить явление света или преходящей молнии в глазу... *Из всех этих опытов... никоим образом нельзя заключить о существовании действительного животного электричества...* Я произвел опыты, которые показывают такой же переход электрической жидкости, если металлы разных родов приложены не к животным частям, а к каким-либо влажным предметам, например, бумаге, коже, сукну и т. д., пропитанным водою или, еще лучше, к самой воде. Это и составляет пока весь эффект подобного соединения металлов, причем в данном случае они являются не просто проводниками, то настоящими возбудителями электричества; в этом и заключается главное открытие». Вольта, по его собственным словам, по мере увеличения числа опытов все более и более убеждается, что электрическая материя никак не вызывается жизненною силою и не возникает в органах тела, а происходит вследствие различия, иногда крайне незначительного, металлов. «*Но если это так, то что, собственно, остается от гальванического животного электричества, существование которого Гальвани как будто доказал своими прекрасными опытами. Ничего, кроме чрезвычайной чувствительности нервов..., т. е. чисто пассивной восприимчивости по отношению к всегда постороннему и искусственному электричеству, которое они ощущают в виде, так сказать, простого электрического ножа*»¹.

Наконец, в 1794 г. Вольта открыто и решительно покидает мысль о животном электричестве. Соответствующая статья его появилась в 1794 г. в журнале Бруньятелли в форме письма к доктору Вазалли. Здесь он прямо ставит основной вопрос: «Что вы думаете о так называемом животном электричестве? Что касается меня, то я уже давно убедился, что все действие исходит из металлов, от соприкосновения которых электрическая жидкость входит во влажное или водянистое тело, причем из одного металла оно истекает сильнее, чем из другого»². Таким образом, Вольта утверждает, что при соприкосновении различных металлов электричества распределяются

¹ Работы Вольты о животном электричестве, появившиеся до 1793 г., переведены на немецкий язык д-ром Иоганном Майером, Прага 1793.

² „Green's Neues Journal der Physik", II, стр. 141.

92 ТЕОРИЯ «МЕТАЛЛИЧЕСКОГО» ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ВОЛЬТЫ

в них таким образом, что один род электричества собирается на одном металле, другой род на другом; когда же металлы приводятся в соприкосновение посредством проводящей дуги, то в последней устанавливается непрерывный ток электричества. Здесь же он дополняет свои прежние данные, указывая, что электрический ток бывает тем сильнее, чем далее отстоят примененные металлы друг от друга в следующем ряду: *цинк, олово, свинец, железо, латунь, бронза, медь, платина, золото, серебро, ртуть;* при этом он отмечает, что *графит и твердый уголь* действуют то же, как металлы. Противоречащие этому наблюдения Гальвани, согласно которым сокращения лягушек могут происходить и при наличии одного металла, он объясняет имеющейся всегда более или менее незначительной разнородностью частей в одном и том же куске металла; он показывает на прямом опыте, что металлическая дуга, не вызывающая сокращений, приобретает это свойство после того, как обе половины ее были различно закалены, выкованы или окислены. Он указывает и на то, что подобные же явления могут быть обнаружены и в электричестве от трения. Если тереть друг о друга два одинаковых тела, то они вообще не наэлектризовываются. Но иногда для получения этого эффекта достаточно только изменить поверхность одного из тел. На этом основании он считал себя вправе приписать все новые электрические явления металлам и заменить название «животного» электричества выражением «металлическое» электричество.

Однако все сказанное не убедило ни Гальвани, ни некоторых других физиков, например Карминати, Валли, Альдини (племянник Гальвани) и др. Последних и нельзя упрекать за это, так как до сих пор все явления одинаково хорошо еще объяснялись как животным, так и металлическим электричеством, но при этом за первым из них оставалось право первородства. Чтобы отстоять свое мнение, названные физики избрали правильный путь, исключив полностью из своих опытов металлы, в которых Вольт видит главных деятелей, и в самом деле, уже в 1794 г. Альдини в сочинении «*De animali electricitate*» (Bologna 1794) («О животном электричестве») сообщает об удаче своих опытов, которые показывают, что сокращения могут быть получены и без участия металлов — в цепи, составленной из частей животных. Несколько позднее и сам Гальвани, который, как это уже было отмечено, довел свою осторожность до того, что даже препарировал лягушек стеклянными ножами, зачастую получал сокращения, просто приводя в соприкосновение бедренный нерв лягушки с ее мышцей. Тем не менее, победа осталась не за ним. В письмах к Грену 1795 г. и в письмах к Альдини 1798 г. Вольт сообщает, что *ему удалось при помощи своего конденсатора прямо доказать и измерить электричество, получающееся при соприкосновении металлов без всякого участия животных мышц;* следовательно, даже те, которые признавали животное электричество, должны были признавать наряду с ним и металлическое. Гальвани сам уже не был в состоянии продолжать борьбу; уже в следующем году, удрученный невзгодами, он умер; последователи же его вынуждены были замолчать, когда вскоре затем был открыт вольтов столб.

БОРЬБА ДВУХ ТЕОРИЙ — ГАЛЬВАНИ И ВОЛЬТА 93

С опытами Гальвани Германию познакомил впервые майнский профессор Аккерманн и вскоре за повторение их принялись с большим рвением и успехом многие ученые: Креве, Э. И. Шмук, Грен, И. Х. Рейль, Александр фон-Гумбольдт и Х. Г. Пфафф. В общем они склонялись больше в сторону Гальвани, чем Вольты; некоторые же из них, как Креве и еще в большей мере А. Гумбольдт ¹, видели в реакциях мышц вовсе не электрические действия, а проявления особого агента жизненной силы, обнаруживавшего свое действие при соприкосновении нервов с мышцами.

Во Франции гальваническим электричеством стали заниматься позднее, когда несколько улеглись бури революции. Созванная лишь в 1798 г. комиссия Национального института подтвердила все известные до того времени факты, но не высказала определенного мнения об их причине.

В Англии Р. Фоулер ² произвел несколько новых опытов с гальваническим электричеством и, подобно немецким физикам, пришел к выводу, что причина, вызывающая эти явления, отлична от электричества. Другие англичане, например А. Монро, д-р И. Ч. Уэлль и Ковалло, считали, наоборот, эти явления тождественными с электрическими, таким образом и здесь, покуда, вопрос оставался нерешенным.

Но, далее, к идее о металлическом электричестве пришли также в результате новых наблюдений, имевших прямое соотношение к опытам Вольта над вкусовыми ощущениями. Фабброни ³ уже в 1792 г. сообщил Флорентийской академии об интересных опытах, о которых более подробно он изложил лишь в 1796 г. ⁴. Он нашел, что если два металла, погруженные в воду, привести в полное или частичное взаимное соприкосновение, то металл, окисляющийся вообще сильнее, в воде окисляется значительно быстрее, чем на воздухе, причем в воде окисляются в этом случае даже такие металлы, которые на воздухе не соединяются с кислородом. Подобные же явления наблюдал, независимо от Фабброни, д-р Эд. Аш в *Оксфорде*. Он заметил значительное ускорение окисления цинка, когда последний был положен на смоченное серебро, то же самое получилось, когда свинец был положен на ртуть и железо на медь. Гумбольдт в упомянутом выше исследовании, сообщив об опытах д-ра Аша и полностью их подтвердив, прибавил к ним новое наблюдение, касающееся разложения воды, но не объяснил его причины (вероятно, вследствие своих воззрений на животное электричество). И все-таки при некотором внимании к ходу физических исследований уже и в то время было нетрудно заметить родство этих явлений с электрическими, так как химическое действие электри-

¹ Сочинение А. фон-Гумбольдта „Versuche über d. gereizte Muskel u. Nervenfasern nebst Vermuthungen über den galvanischen Process d. Lebens“ (2Bd., Posen u. Berlin 1797) ценно благодаря многочисленным, разнообразным и тщательно проведенным опытам.

² Exp. a. obs. relative to the influence lately discovered by Mr. Galvani and comm. called animal electr., Edinburgh a. London 1793.

³ Giov. Val. Mattia Fabbroni (1752—1822), физик во Флоренции.

⁴ Über die chemische Wirkung d. Metalle auf einander bei gewöhnlicher Temperatur d. Atmosphäre, „Green's Neues Journal der Physik“, IV, стр. 428—433.

94 ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

чества от трения было уже давно открыто и описано. Беккариа уже в 1758 г. утверждал, что металлические земли, например сурик, свинцовые белила, цинковая зола и пр., восстанавливаются электрической искрой, а граф де-Милли подтвердил эти наблюдения. Правда, другие физики, например Каде и Бриссон, полагали, что образовавшийся металл происходит от плавления проводников; но мнение их уже в 1787 г. было опровергнуто голландцами ван-Марумом ¹ и Паэтсом ван-Труствиком ², которые, пропуская электрические искры через каналы, наполненные суриком и пр., наблюдали вполне определенное восстановление металлических земель при прохождении электричества. Около того же времени Генри Кавендиш заметил изменение объема воздуха при пропускании электрических искр и объяснил это химическим действием электричества. Он установил, что как в чистом дефлогистированном воздухе (в кислороде), так и в чистом флогистированном (в азоте) электрическая искра не производит действия, а в смеси этих газов она вызывает образование химического соединения, сходного с азотной кислотой. Эти опыты, в свою очередь, были подтверждены ван-Марумом, наблюдавшим, сверх того, выделение водорода из алкоголя при посредстве электрических искр и разложение аммиака на азот и водород. Наконец, Паэс ван-Труствик и Дейман ³ в 1789 г. заметили, что при пропускании искр через воду из нее выделяются с соответственным постепенным уменьшением количества воды, газы, которые, в свою очередь, превращаются в воду, если через них пропустить электрическую искру. Однако все эти опыты обратили на себя очень мало внимания.

Такие давно известные действия электричества (от трения), как свет и теплота, конечно, должны были побудить обратиться к вопросу о *сущности* этого замечательного агента. Легко понять, что открытие химических действий электричества должно было еще более усилить интерес к вопросу. В том обстоятельстве, что электричеству присуще химическое действие, видели подтверждение мысли, что электричество представляет собою особое элементарное вещество, или, по крайней мере, своеобразную жидкость, состоящую из немногих элементов. Многочисленные связи, которые были установлены между электричеством, с одной стороны, и светом и теплотой, с другой — сделали эту точку зрения вероятной и приводили к мысли, что *электричество состоит из светового и теплового вещества*, или, по крайней мере, содержит их в себе, как элементы. (Таким образом, в сущности оставались очень близко к старой мысли, что электричество представляет собою некоторую разновидность огня.) Относительно же характера сочетания этих элементов не могли придти к какому-либо приемлемому соглашению.

Вильке принял различие между обоими электричествами подобным противоположности между огнем и кислотой, в связи с чем он даже

¹ Martin van Marum (1750—1837), директор Тейлоровского музея в Гарлеме.

² Adrian Paets van Troostwijk (1752—1837), амстердамский негодант.

³ Johann Rudolf Diemann (1743—1808), амстердамский врач, много занимавшийся физикой и химией.

ПРОБЛЕМА ПРИРОДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 95

предложил заменить знаки + электричества и — электричества названиями огонь и кислота. Аналогичных взглядов придерживались Кратценштейн, Люстенберг, Карстен и др. И. Ф. Мейер считал главной составной частью электричества *жирную кислоту*, выделяющуюся из некоторых тел при трении. Грен *отождествлял электричество с световой материей*; Ахард настаивал, наоборот, на тождестве его с тепловым веществом. Пристли утверждал, *что электрическая жидкость должна содержать в себе флогистон*, или же прямо быть флогистоном. Генли ¹ тоже смотрел на электричество, как на видоизменение того основного вещества, которое в состоянии покоя называется флогистоном, а в состоянии сильного движения — огнем. Он выставляет на вид то обстоятельство, что некоторые (растительные) вещества, богатые флогистоном, т. е. легко сгорающие, отдают при трении огонь и затем наэлектризовываются отрицательно. Наиболее подробно разработанную теорию дал Делюк ², построивший электрическую теорию совершенно по образцу своей тепловой теории. Подобно тому как водяной пар состоит из воды и расширяющей жидкости, так и *электричество состоит из тяжелого собственно-электрического вещества и расширяющей жидкости* (*fluide déférent*). Тела, наэлектризованные положительно и отрицательно, отличаются друг от друга тем, что первые, при одинаковом содержании расширяющей силы, богаче электрическим веществом, чем вторые. Электрическая индукция объясняется очень удовлетворительно следующим образом. Если к телу, наэлектризованному положительно, приблизить изолированный проводник *AB*, то расширяющая жидкость, в силу своей природы, перейдет на этот проводник; но так как конец *A* проводника, ближайший к наэлектризованному телу, будет подвержен этому действию сильнее, чем конец *B*, то на первом напряжение электрической материи будет сильнее, чем на втором, а так как *AB* является проводником, то электрическая материя будет течь от *A* к *B*, пока не установится равновесие. Поэтому, при равном напряжении, *A* будет содержать меньше электрической материи, чем *B*, т. е. *A* будет —, а *B* будет +. Подобно теории испарения и электрическая теория Делюка имела в свое время многих приверженцев. Однако последняя не могла продержаться так долго, как первая, может быть, оттого, что вообще уже больше не признавали удобным допускать существование весомой электрической материи, а скорее, пожалуй, потому, что в скором времени признали всякие суждения о сущности электричества, кроме свойственных ему притягательных и отталкивательных сил, невозможными, а потому и бесполезными. Известный электрик Пфафф в 1827 г., сделав обзор существовавших до того времени электрических теорий, приходит к следующему выводу: *«Мне кажется, установленным, что в основе электрических явлений лежит особая материя, которую следует отне-*

¹ William Henly или Henley, умерший в 1779 г. лондонский купец, изобретатель квадратного электрометра и разрядника.

² Deluc, *Nouvelles Idées sur la Météorologie*, Paris 1787. Über d. electr. Fluidum, „Green's Journal der Physik“, IV, стр. 91. Подробнее изложение тогдашних представлений о сущности электричества имеется в *Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., III, стр. 350—389,

сти к числу эфирных жидкостей... В такой же мере представляется мне выясненным, что существуют два рода электричества... Что же касается до отношения обеих этих эфирных жидкостей к прочим невесомым, особенно к тем, от которых зависит световая и тепловая деятельность, то представляется также установленным, что они не тождественны с последними... Но столь же несомненно, с другой стороны, что они находятся с указанными невесомыми в тесной связи, которая, однако, до сих пор не могла быть вполне выяснена»¹.

МЕХАНИКА (приблизительно от 1790 до 1810 г.). Уже давно механики поставили себе задачу, найти общие начала, при посредстве которых было бы возможно разрешение всех механических проблем чисто аналитически, с помощью одних вычислительных операций. Существование таких начал было уже доказано великими математиками предшествующих периодов, но тогда же была выяснена непрочность обоснования всех этих начал, и притом остались еще нерешенными споры, какие из начал следует считать наиболее общими и вместе с тем наиболее удобными для разрешения этой задачи. И вот Лагранж² применил всю силу своего мощного гения, чтобы доказать, что единый механический принцип, а именно принцип виртуальных скоростей обнимает собою все прочие начала и достаточен для решения всех проблем механики. Сочинение, в котором он изложил указанную идею, носит заглавие «Mécanique analytique» («Аналитическая механика»). Оно появилось в свет впервые в Париже в 1788 г., а вторым значительно дополненным изданием в 1811—1815 гг. Выдержанный строго аналитический характер этого сочинения придал самой науке, теоретической механике, определенный отпечаток. Эта работа почти вытеснила из механики синтетический метод Ньютона, и лишь спустя много лет после Лагранжа наряду с его аналитическим методом здесь снова начал завоевывать себе место и геометрически-синтетический метод.

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., III, стр. 382—383.

² Joseph Louis Lagrange, родился в Турине 25 января 1736 г. Родители его, французы, были вначале очень богаты, но потеряли свое состояние. В 1753 г. Лагранж был уже профессором математики в Королевской туринской артиллерийской школе. С некоторыми из своих учеников он основал частное научное общество, превратившееся впоследствии в Туринскую академию. Первый том трудов этого общества, знаменитый по содержащимся в нем статьям Лагранжа, появился в 1759 г. В том же году Лагранж стал членом Берлинской академии, а в 1766 г., по рекомендации д'Аламбера, ее президентом. По смерти Фридриха Великого он отправился в 1787 г. в Париж, где Мария-Антуанетта поместила его в Лувре. В 1789 г. он выступил против предложения ввести двенадцатиричную систему счисления, так как считал целесообразным заменить обыкновенные дроби десятичными. После периода террора он стал профессором математики сначала в Нормальной, потом в Политехнической школе. Умер он в Париже 10 апреля 1813 г. В качестве математика и механика Лагранж был основателем школы. Г. Ганкель (Entwicklung d. Mathematik, Tübingen 1885, стр. 14) характеризует его следующим образом: „Общие методы и теоремы составляют для него цель; изящность метода для него почти важнее, чем самый результат. Поэтому его считают изящным математиком *par excellence* (по преимуществу), но изящество его заключает в себе нечто холодное, изысканное; пишет он рассчитанно, сдержанно и сжато... Эти особенности стали с тех пор общераспространенными чертами в математике”.

ХАРАКТЕР И СОДЕРЖАНИЕ «MÉCANIQUE ANALYTIQUE» 97

В предисловии к названному сочинению ясно очерчена его сущность и характер. «Мы имеем уже много учебников механики, но план настоящей работы совершенно нов. Я поставил себе задачей свести теорию этой науки и решение всех ее задач к простым формулам, простое развитие которых дает все уравнения, необходимые для решения любой задачи... Сочинение это принесет, кроме того, пользу и в другом отношении: оно объединит и изложит с одной общей точки зрения различные механические начала, найденные до сих пор с целью облегчить решение механических задач, приведя их в связь, показав их взаимную зависимость и дав возможность судить об их правильности и значении. В настоящей работе нет никаких чертежей. Примененные мною здесь методы не требуют ни построений, ни геометрических и механических умозаключений, представляя собою лишь алгебраические операции, правильно и ровно выдержанные до конца».

Все рассматриваемое сочинение распадается на две части, *статическую и динамическую*, в которых отделы, за единственным исключением, строго соответствуют друг другу. Первые отделы обеих частей дают *исторический обзор* развития начал механики до Лагранжа. В *статической части* начало *виртуальных скоростей* определяется следующим образом: «Если какая-либо система, состоящая из любого числа тел или точек и подверженная действию каких-либо сил тяги или давления, находится в равновесии, и системе этой сообщается какое-либо незначительное движение, вследствие которого каждая точка пробегает бесконечно малое пространство (*виртуальная скорость*), то сумма произведений из сил, приложенных ко всякой данной точке, на величину перемещения точек в направлении силы всегда равна нулю; при этом предполагается, что перемещения, происходящие в направлении силы, имеют положительный знак, а в обратном — отрицательный». Во втором отделе первой части это положение выражается формулой

$$Pdp + Qdq + Rdr + \dots = 0$$

и рассматривается как основа всей статики. В соответствующем *отделе динамики* выводится основное уравнение динамики, которое получается путем приравнивания суммы виртуальных моментов действующих сил сумме виртуальных моментов результирующих движений. Если в этом уравнении все последние члены перенести из второй части в первую, переменяя знаки на обратные, то эта формула выражает собою *начало д'Аламбера*, которому и Лагранж придает значение общего приема сведения динамических задач на статические. В третьих отделах обеих частей выводятся общие свойства равновесия и движения. В статической части из основного уравнения выводится шесть уравнений, которыми определяется невозможность как *перемещений*, так и *вращений тела*. В полном соответствии с этим, в динамической части даны три уравнения, выражающие *принцип площадей* или *моментов вращения*. Кроме того, здесь выводятся *принципы живой силы и наименьшего действия*, а также исследуются движения тел по отношению к их *главным осям*.

98 СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОД «MÉCANIQUE ANALITIQUE»

Четвертые отделы переносят уравнения равновесия и движения на тела, движения которых не свободны, но подчинены *известным ограничениям*. Для этой цели Лагранж придумывает свой знаменитый *метод неопределенных множителей*. Он умножает вариации всех уравнений, которым должно удовлетворять движущееся тело, на неопределенные множители, прибавляет просто полученные произведения к своим уравнениям в качестве членов и затем трактует эти уравнения, как если бы они представляли собою уравнения движения совершенно свободного тела. Пятые отделы заключают в себе применение общих формул к частным случаям. В статической части рассматривается равновесие одной точки, *равновесие систем точек*, члены которых связаны нитями или стержнями, *равновесие нити* и, наконец, *равновесие твердого тела* измеримой величины. Соответствующий динамический отдел исследует движение тела, производящего бесконечно *малые колебания*, движения свободных точек под влиянием *притягательных сил* и, наконец, движения точек, подчиненных *статическим* условиям. Шестому *динамическому отделу*, посвященному *вращению тел*, конечно, нет соответствующего в статике.

Три последние отдела обеих частей посвящены механике жидкостей; в первых излагается опять-таки *историческое развитие* соответствующих начал. В следующих отделах доказано, что общие основные уравнения статики и динамики прямо приложимы и к *механике неупругих жидкостей*, если прибавить к ним член, соответствующий условию несжимаемости жидкостей. Это условие будет $dx\ dy\ dz = \text{const}$, оно выражает, что каждая частица жидкости занимает постоянный объем. Для *механики упругих жидкостей* в последних отделах выведены основные уравнения, совершенно аналогичные соответствующим уравнениям предшествующих отделов. Упругие жидкости отличаются от неупругих лишь тем, что в первых объемы элементов непостоянны и изменяются соответственно коэффициентам упругости. Таким образом основное уравнение гидромеханики переходит в соответствующее уравнение аэромеханики, если вместо члена, выражающего постоянство объема элемента, поставить член, выражающий тенденцию к изменению этого объема в соответствии с упругостью.

«*Mécanique analytique*» Лагранжа представляет собою столь законченное произведение, столь строго систематически изложенное, что идти дальше принципиально по проложенному им пути представляется почти невозможным. Механика представляется как бы завершенной этим творением. Там, где решение задачи не удастся, трудности лежат на стороне математики, которая оказывается не в состоянии применить заданные общие формулы к соответствующим частным случаям. То, что Лагранж обещал в предисловии, — свести все механические трудности на чисто математические, — было им выполнено изумительным образом. Но, с другой стороны, конечно, систематическая завершенность этого произведения обуславливает его *односторонность* и, как следствие этого, известное несовершенство. Полностью исключая *геометрически-синтетический метод*, это сочинение при разрешении многих проблем бывает вынуждено прибегать к окольным, зачастую не относящимся к сути дела, выводам, между

ПРОБЛЕМА ОБОСНОВАНИЯ НАЧАЛА ВИРТУАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ 99

тем, как синтетический метод мог бы привести прямо и просто к цели. Очень характерно в этом отношении то обстоятельство, что *синтетически-геометрический метод*, в течение некоторого времени казавшийся совершенно изгнанным из области математики, *снова получил в ней право гражданства именно в связи с применением его к вопросам механики*.

В работе Лагранжа была и другая в принципиальном смысле *теневая сторона*. Старые трудности теоретико-познавательного характера, которые уже давно подвергли сомнению все прежние механические начала, не пощадили и основ *Mécanique analytique*. *Началу виртуальных скоростей*, как и всем вообще основным физическим положениям, не удалось найти для себя твердой опоры: им приходилось колебаться между *аксиомой, теоремой и опытным фактом*, этими тремя философскими устоями познания. В первом издании *Mécanique analytique* Лагранж описывает историю начала виртуальных скоростей, показывая, как постепенно из законов рычага, закона сложения движений и т. д. развилось и достигло своего завершения это начало. *Однако это развитие не соответствует идее работы*, согласно которой указанное начало, наоборот, провозглашается основой всех прочих механических начал. Поэтому уже в 1796 г.¹ Лагранж пытался вывести принцип виртуальных скоростей, заменив все силы, действующие на элементы тела, натяжением каната, обвивающего все точки один или несколько раз, и затем приравняв нулю алгебраическую сумму всех удлинений и укорочений отдельных частей каната при виртуальном перемещении системы. При этом для наглядности он представлял себе каждую точку связанной с неподвижными блоками, вследствие чего вся система получила сходство с очень сложным полиспастом. Однако в 1813 г., во 2-м издании своей «*Théorie des fonctions*» (Chp. 5, Art. 30) он отказался от этого построения, представляя себе блоки бесконечно малыми или скорее считая, что нити движутся вокруг элементов тела без трения.

Однако и этим для принципа Лагранжа еще не было обеспечено абсолютно надежное существование. Дюринг в своей «*Geschichte der mechanischen Principien*» («История механических начал», 2-е изд., стр. 317—319) обращает внимание на то обстоятельство, что и в приведенном доказательстве все-таки предполагается сведение силы на определенное направление движения. С другой стороны, Якоби в своих лекциях, изданных Клебшем², не приводя никаких доказательств, говорит: «*По мнению многих математиков, и между прочим Гаусса, положение, о котором идет речь, следует считать началом, следовательно, от обоснования его математическим путем следует отказаться*». Таким образом, настоящий теоретико-познавательный вопрос, как и многие другие ему подобные, остался открытым.

Развитие всей аналитической механики мы закончим сообщением о некоторых отдельных механических или соприкасающихся с механикой фактах.

¹ Journal de l'École polytechnique, t. II, Cahier V, стр. 115; *Mécanique analytique*, 2-ème éd., t. I, sect. 1, art. 18 и 19.

² По *H. Klein'y*, Die Principien der Mechanik, Leipzig 1872, стр. 16.

100 ВВЕДЕНИЕ МЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕР

Как ни неблагоприятны были для процветания наук времена французской революции и последовавших за нею больших наполеоновских войн, однако и они ознаменовались одним очень важным достижением, которое при других обстоятельствах, может быть, никогда бы не было осуществлено или для осуществления которого потребовались бы долгие годы: речь идет о разработке и проведении в жизнь единой планомерной системы единиц измерений. В 1788 и 1789 гг. многие французские города обратились к правительству через своих представителей с просьбой ввести в стране общую меру, чтобы покончить с многочисленными злоупотреблениями и обмериваниями, имевшими место на почве отсутствия в стране единой системы мер. В заседании Академии наук 14 апреля 1790 г. Бриссон предложил построить «новую систему мер на какой-нибудь естественной длине, которую можно было бы всегда заново воспроизвести. Тогда Талейран (в то время еще Отенский епископ) внес вопрос в Национальное собрание, и здесь 8 мая 1790 г. было решено принять в качестве неизменной основы системы мер длину секундного маятника под 45° широты. В качестве единицы веса Бриссон предложил принять вес определенного объема золота, серебра или дистиллированной воды; впоследствии он отдал предпочтение последней. Однако комиссия Академии, состоявшая из Борда, Лагранжа, Лапласа, Монжа и Кондорсе, высказалась против использования длины маятника и рекомендовала согласно предложению, сделанному в том же году инженером-географом Бонном, принять в качестве единицы длины какую-либо *часть экватора или меридиана*. Длину же маятника, как величину, зависимую от двух разнородных элементов, тяжести и времени, разделение которых, кроме того, еще и произвольно, они нашли неудобной. Вследствие этого 30 марта 1791 г. Национальное собрание решило принять в качестве единицы меры *одну десятиmillionную часть земного меридиана*. Мешен и Деламбр тотчас же приступили к проведению необходимых для данной цели градусных измерений. В 1792 г., вследствие упразднения Академии, эти работы временно приостановились, но назначенная вновь для этой цели комиссия (состоявшая из Бертолле, Борда, Бриссона, Кулона, Деламбра, Го, Лагранжа, Лапласа, Мешена, Монжа, Прони и Вандермонда) продолжила эти работы и закончила их в течение нескольких лет. Законом 18 жерминаля III (года (7 апреля 1795 г.) был установлен на основании прежних измерений предварительный, временный метр, соответствовавший длине 3 футов 11,4421 париж. линий. После окончания новых измерений под наблюдением особой комиссии с Лапласом во главе были изготовлены нормальные образцы мер и 4 мессидора VII года (23 июня 1799 г.) сданы в архив республики. 6 мессидора VIII года (25 июня 1800 г.) был издан закон об окончательном введении новых мер. Метр оказался равным 3 футам 11,2961 париж. линий. К сожалению, впоследствии была обнаружена ошибка в определении дуги между Монжу и Форментерой, на котором было основано определение длины метра. Пюиссан исправил между 1836 и 1840 гг. все подобные ошибки и определил длину метра в 3 фута 11,375 париж. линий. Бессель, показал, что длина квадранта меридиана в новой мере вместо 10 000 000

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЗЕМЛИ 101

составляет 10 000 856 м. Комиссия Академии, вновь обсудив тогда вопрос об основной единице меры, пришла к выводу, что необходимо остаться при метре VIII года, так как по избранному пути никогда не удастся прийти к совершенно точному установлению естественной меры¹.

Разносторонний интерес для астрономов, географов и физиков представляли начатые в то время опыты определения *плотности Земли*. Так как сжатие Земли, выведенное теоретически из скорости ее вращения в предположении равномерной ее плотности, не согласовалось ни с результатами градусных измерений, ни с наблюдениями над маятником под экватором и близ полюсов, то пришли к совершенно естественному предположению, что внутренние слои Земли плотнее наружных. Тем не менее, несмотря на все усилия крупных математиков, определить эту плотность путем исчисления не удавалось. Впервые, путем наблюдений, удалось получить до известной степени удовлетворительные результаты Маскелину² и Хуттону³. По предложению первого из них они наблюдали отклонение отвеса по обе стороны горной цепи Shehallien в Пертшире и в течение 1774, 1775 и 1776 гг. вычислили отсюда отношение плоскостей Земли и горы, которое оказалось равным 17804:9938. Сначала Хуттон принял плотность горы равной $2\frac{1}{2}$, но потом, по указаниям Фортингаля, равной 3. Отсюда для плотности Земли получились значения 4,481 или 5,377. Впоследствии он принял среднюю из этих двух величин 4,929, считая ее наиболее верной. Однако способ получения этих чисел заключал в себе так много источников ошибок, что результаты Генри Кавендиша⁴, полученные иным путем и давшие числа, хотя и отличные от прежних, но не противоречащие им, были встречены очень сочувственно⁵. Он определил в 1798 г. при помощи *крутильных весов* (которые, по-видимому, были придуманы еще до Кулона в 1768 г. Джоном Мичеллем) удельный вес Земли в 5,48. Коромысло весов, подвешенное на посеребренной медной проволоке, имело 73,30 дюйма длины и весило 2400 гран. На концах его находилось по маленькому свинцовому шару (2 дюйма диаметром), а против них, на расстоянии 8,85 дюйма, по большому свинцовому шару (8 дюймов в диаметре). С 5 августа 1797 г. по 23 мая 1798 г. Кавендиш произвел в общей сложности 17 опытов и из отклонений, производимых большими шарами, а равно как из скорости колебаний коромысла, вычислил приведенную выше величину плотности Земли. Причину значительного расхождения последней с числом Хуттона пытались выяснить как Кавендиш, так и Хуттон, но безуспешно. Но так как в вычислениях Кавендиша оказалось довольно много ошибок, а, с другой стороны, Лапласу, в конце концов, удалось из сжатия Земли от изменения силы тяжести вычислить для плотности земного ядра число 4,761, более

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl, VI, стр. 1261. *Chevreur*, Examen critique de l'histoire du mètre, Comptes rendus LXIX, стр. 847—853.

² Nevil Maskelyne (1732—1811), королевский астроном в Гринвиче.

³ Charles Hutton (1737—1823), профессор математики.

⁴ Henry Cavendish (1731—1819) — очень богатый человек, посвятивший всю жизнь физике и химии.

⁵ Philosophical Transactions, LXXXVIII, стр. 469. „Gilbert's Annalen", II, стр.1.

102 ВЛИЯНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ПАДЕНИЕ ТЕЛ

близкое к числу Хуттона, то в 1811 г., после проверки хуттоновских измерений Плейфером, решили остановиться на числе 4,713, как наиболее вероятном для плотности Земли.

После довольно долгого перерыва были также снова предприняты *опыты над свободным падением тел*. В 1784 г. Дж. Атвуд (1745 — 1807) описал свою машину в сочинении «On the rectilinear motion and rotation of bodies» («О прямолинейном движении и вращении тел»). С 1789 г. Джиованни Баттиста Гульемини (умер в 1817 г.) начал работать над отклонением падающих тел от отвесной линии, которое предсказал еще Ньютон, но которое до того времени еще никем не было на опыте установлено. Он исчислил тогда для тела, падающего с высоты церкви Св. Петра в Риме (250 футов), величину *восточного отклонения*, обусловленного вращением Земли, в $\frac{1}{2}$ дюйма от отвесной длины. Затем в 1790 и в 1791 гг. он в Болонье наблюдал падение шаров с той самой башни (degli Asinelli), на которой производили опыты еще Риччиоли и Гримальди, и пришел к результатам, согласным со своими расчетами. К удивлению, он нашел даже больше того, чем ожидал, а именно, наряду с восточным, он констатировал еще и *южное* ¹ отклонение, правда, незначительное. Лапласу такое отклонение показалось теоретически невозможным, и он отсюда сделал только тот вывод, что все эти опыты совершенно неточны и что *поэтому* они никак не могут иметь доказательной силы для вращения Земли вокруг оси. Бенценбер ², наоборот, полагал, что опыты Гульемини могут все-таки оказаться пригодными, что южное отклонение могло произойти от того, что Гульемини определил отвесное направление с башни лишь спустя шесть месяцев после опыта, а за это время башня могла на несколько линий осесть ³. Вследствие этого он решил повторить эти опыты, но только с возможно большими предосторожностями и, прежде всего внутри такого здания, где всякие внешние влияния будут уменьшены до минимума. Наиболее соответствующей его целям показалась ему колокольня Св. Михаила в Гамбурге, в пролетах которой полы могли быть разобраны для пропускания падающих тел. Здесь он в 1802 г. произвел 31 опыт с шарами из свинца или из сплава олова, цинка и свинца, при высоте падения в 235 парижских футов. В соответствии с теорией здесь получилось восточное отклонение в среднем в 3,99 или по вычислению Гаусса в 3,95 париж. линий. Однако *и при его опытах снова выявилось злоеющее южное отклонение*, причем величина его оказалась на 1,5111 париж. линий больше возможного предела ошибок. К подобным же результатам привели опыты, которые провел Бенценберг в следующем году в каменноугольной шахте в Шлебуше. На основании своих исследований он пришел к заключению, что южное отклонение могло произойти от какой-нибудь естественной причины, не принятой в рас-

¹ *Gugliemini*, Gie diurno terrae motu, experimentis physico-mathematicis confirmato, Bologna 1792.

² Johann Friedrich Benzenberg (1777—1846) с 1805 по 1810 г. — профессор физики и математики в Дюссельдорфском лицее; затем — частное лицо, — основатель обсерватории близ Дюссельдорфа.

³ „Gilbert's Ann.", XII, стр. 372.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС 103

чѣт теоретических выкладках. Другие же, как, например, астроном Ольберс, продолжали объяснять это явление побочными обстоятельствами, не зависящими от тяжести и вращательного движения Земли, между прочим, может быть, неполным устранением воздушных токов. К его мнению примкнуло большинство физиков, хотя, конечно, должно было все-таки показаться странным, что воздушные токи и другие случайные побочные обстоятельства и в Болонье, и в Гамбурге, и в Шлебуше всегда отклоняли падающие тела от отвесной линии только в южном направлении.

К этому же времени относится изобретение нескольких *механических приборов*, представляющих теоретический или технический интерес. *Мостовые весы* получили свое нынешнее устройство в 1800 г. благодаря страсбургскому механику Швильге (построившему новые часы для страсбургского собора). До того времени с давних пор пользовались под названием шведских весов системой рычагов, позволявших взвешивать большие грузы с помощью малых гирь.

Жозеф Мишель Монтольфье построил в 1796 г. для снабжения водой своей писчебумажной фабрики в Вуароне машину, названную им *Bélier hydraulique*, знакомую нам в существенно схожих чертах под названием *гидравлического тарана* (водоподъемная машина). Эта машина вскоре возбудила большой интерес в технических и научных кругах. Монгольфье получил в 1802 г. привилегию и золотую медаль. Яблоновское общество, Батавское общество в Роттердаме и Берлинская академия назначили премии за теоретическую разработку гидравлического тарана, и в течение первого десятилетия нашего века ¹ появился ряд научных исследований по этому вопросу. И все-таки, несмотря на это, данная машина не приобрела широкого технического применения, главным образом, потому, что расчет последней и в особенности наиболее важного клапана в приводящей трубе, т. е. такой конструкции, которая обеспечила бы безукоризненную правильность действия машины, оказался слишком трудным.

Противоположная участь постигла изобретение Джозефа Брама (лондонского механика и инженера 1749—1814 гг.), получившего в марте 1796 г. патент на носящий его имя гидравлический пресс. До 1820 г. устройство последнего было еще мало известно в Англии и Франции; в Германии же первое точное описание его было дано в 1818 г. Гильбертом («Gilbert's Ann.», LX, стр. 1). Но затем распространение этой машины пошло быстрыми шагами ². Пьер-Франсуа Реаль изобрел, по-видимому, еще в 1806 г. специальный экстракт-пресс для приготовления особенно сгущенного кофейного экстракта; этот пресс стал известен только с 1817 г. благодаря химику Деберейнеру, который дал о нем очень хороший отзыв.

¹ Т. е. XIX века (см. пред. примечание). *Прим. ред.*

² Интересное видоизменение этой машины было придумано в 1865 г. инженерами Дегофф и Оливье. Она состоит из одного только цилиндра с поршнем, совершенно заполненного маслом. В цилиндре находится вал, на который при помощи устроенной снаружи рукоятки наматывается крепкая струна. Последняя, равно как ось рукоятки, проведена через стенку цилиндра очень плотно, так что масло не вытекает (Jahrb. d. Erfindungen, II, стр. 156).

104 ТЕОРИЯ ВОЛОСНОСТИ

В заключение нам следует еще упомянуть о *теории волосности*, которая в начале нашего ¹ столетия достигла известной законченности благодаря Лапласу, после того как в течение уже более полутора столетий большинство физиков работало над нею почти безуспешно. Во втором томе настоящей работы мы видели, что в начале XVII века физики объясняли поднятие жидкостей в тонких трубках притяжением жидкости стенками трубки и таким образом удачно исключали из этого явления давление воздуха. Но от этого отрицательного вывода теория волосности мало выиграла, так как, несмотря на все старания, не удавалось установить правильное количественное соотношение между причиной и ее действием. Карре ² предположил около 1705 г., что водяные частицы теряют вследствие притяжения стенок трубок весь свой вес; поэтому количество жидкости, находящееся в трубке, должно замещаться другим в точности равным количеством, и, следовательно, высота поднятия должна быть пропорциональна длине погруженной трубки. Жюрен и Бюльфингер защищали подобные же взгляды несколько десятков лет позднее. Гамильтон приписывал притяжение одному только нижнему краю трубки на том основании, что капля в горизонтально лежащей трубке свободно двигается в обе стороны, останавливаясь только на краю трубки. По мнению Мушенбрека явление волосности, по-видимому, зависит: 1) от притяжения стенок внутренней поверхности трубки; 2) от притяжения мельчайших частей самой жидкости; 3) от веса жидкости в трубке и от высоты последней. Тем не менее, он не решался ближе войти в теоретическое определение данного явления, не будучи достаточно знаком с природой этих притягательных сил. Мушенбрек приводит лишь *таблицу высот поднятия* различных жидкостей в трубках из разного сорта стекла ³. Первую попытку аналитического вывода законов волосности мы находим у Клеро в его работе «De la figure de la Terre» (Paris 1743) («О фигуре Земли»). Но и он исходит еще из предположения, что *притяжение стенок распространяется до оси трубок*. Новейшим представлением, согласно которому молекулярное притяжение обнаруживается лишь на бесконечно малых расстояниях, воспользовался впервые Лаплас в своей теории волосности, который, таким образом, согласовал результаты математических расчетов с данными опыта. Лаплас опубликовал относящиеся к данному вопросу работы в двух небольших монографиях «Théorie de l'action capillaires» (Paris 1806) («Теория капиллярного действия») и «Supplement a la. théorie de l'action capillaire» (Paris 1807) («Дополнение к теории капиллярного действия»), за которыми последовало подробное изложение этого вопроса в различных периодических изданиях ⁴. С его точки зрения, *явления волосности обуславливаются взаимным сцеплением*

¹ Т. е. XIX века см. пред. примечание). *Прим. ред.*

² *Louis Carre* [(1663—1711), копиист при Мальбрайше, затем частный преподаватель в Париже], *Sur les tuyaux capillaires*, Mém., Paris 1705.

³ *Musschenbroeck*, *Introductio ad Philos. Natur.*, I, стр. 368—376. Мушенбрек уже объясняет поднятие соков в растениях волосностью.

⁴ *Теория волосности* была также развита в приложении к 4-й части „Небесной механики“. Очерк ее, написанный Био, находится в *Gilbert's Ann.*,"

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ГАЗОВ 105

частиц жидкости и прилипанием этих частиц к частицам твердых стенок трубки, причем, однако, эти обе силы проявляются заметным образом лишь при неизмеримо малых расстояниях между частицами. Чем больше сила прилипания по сравнению с силой сцепления, тем выше поднимается слой, соприкасающийся с краями трубки над средним уровнем. Об отношении между сцеплением и прилипанием можно судить по очертанию поверхности жидкости или, точнее, по углу, образуемому поверхностью жидкости с поверхностью стенки, т. е. по так называемому *краевому углу*, и обратно. Таким образом, форма поверхности или краевой угол становятся мерилем высоты поднятия и при их помощи вместо прежних неосязаемых молекулярных сил, можно математическим путем исследовать явления волосности. И действительно, Лапласу было нетрудно, исходя из *принципа постоянства краевого угла*, вывести основной закон явлений волосности, согласно которому высоты поднятия для одних и тех же веществ должны быть обратно пропорциональны диаметрам трубок, и тем самым сообщить этому отделу физики ту основу, от которой ей уже не приходилось отступать при своем дальнейшем развитии.

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ (приблизительно от 1800 до 1815 г.). Наблюдение, что *изменения температуры тел* постоянно сопровождаются *изменениями их объемов*, относятся уже к отдаленной древности, тем не менее, определение абсолютной величины отношения этих изменений принадлежит только новейшему времени. До изобретения термометров о подобных определениях, разумеется, нельзя было и думать, но зато с развитием термометрии точное исследование этой связи становилось совершенно необходимым. Сверх того, в конце прошлого XVIII и в начале нынешнего XIX века накопилось множество различных явлений, побуждавших заняться *тщательными измерениями расширения тел от теплоты*; таковы были: *необходимость поправок барометрических показаний при определении высот, определение астрономической рефракции, вопрос об упругости газов и паров*, постепенно возрастающее применение *металлов для научных приборов и технических целей* и т. д.

Прежде всего, естественно, обратилась к определению *расширения воздуха*, которое по своей величине больше всего бросалось в глаза и представлялось наиболее легко измеримым. Множество физиков вскоре получило большое количество результатов, но частично довольно разноречивых. Амонтон для регулирования своего нормального термометра измерил расширение воздуха при нагревании его от 0° до 80° R и сравнительно точно определил его в 0,380 части его объема при 0° . С другой стороны, Ньюте в 1705 г. получил при посредстве несколько видоизмененного прибора один раз число, вдвое большее, а другой раз — число, даже в 16 раз большее. Ла-Гир (1708) тоже получил вместо амонтонского числа 1,5 и даже 3,5. Гоуксби (1709) нашел число 0,455; Крюкиус (1720) — 0,411; Полени — 0,333; Бонн — 0,462; Мушенбрек — 0,500; Ламбер («Pyrométrie», стр. 47)—0,375;

1807, стр. 345, XXV. Подробное изложение появившихся до того времени работ Лапласа по теории капиллярности составлено Гильбертом и Брандесом в „Gilbert's Ann.", XXXIII, стр. 1, 1809.

106 ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ГАЗОВ

Делюк — 0,372; И. Т. Мейер — 0,3755 и 0,3656; Соссюр — 0,339; Вандермонд, Бертолле и Монж получили (1786) — 0,4328. Пристли¹, получивший для расширения воздуха значительно отклоняющееся от истинного число 0,9375, утверждал, сверх того, что кислород, азот, водород, угольная кислота, пары азотной, соляной, сернистой, плавиковой кислот и аммиака — все они отличаются по своему расширению от воздуха. Г. Г. Шмидт («Green's Neues Journ.», IV, стр. 379) получил для расширения воздуха число 0,3574, для кислорода 0,3213, наконец, для водорода, угольной кислоты и азота 0,4400, 0,4352, 0,4787. Морво и Дювернуа примкнули к мнению Пристли, но вообще нашли, что расширение газов не вполне пропорционально изменению температуры².

Решающий приговор над этими разноречивыми результатами и мнениями, ясное и всеми признанное представление о расширении газов от теплоты внесли в науку только работы Гей-Люссака и Дальтона, которые, одновременно и вполне независимо друг от друга, пришли к совершенно согласным результатам. Гей-Люссак³, разыскивая причину расхождения множества полученных им коэффициентов расширения, обратил внимание, прежде всего на присутствие в измерительных приборах воды, которая при нагревании превращается в пар и неопределенным, неподдающимся учету образом увеличивает объем заключенных в сосуде газов. Поэтому он обратил самое тщательное внимание на полное и совершенное высушивание сосудов, предназначенных для опыта, и на освобождение исследуемых газов от всякой влажности. После этих предосторожностей уже первая серия опытов дала ему очень согласные результаты. Шесть опытов с атмосферным воздухом показали расширение его, в промежутке между 0° и 100° C, на 0,3740, 0,3760, 0,3744, 0,3755, 0,3748, 0,3757. Следовательно, в среднем итоге получилось 0,3750, т. е. число, кото-

¹ *Priestley*, Experiments and observations on different kinds of air, London 1774—1777.

² *Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., I, стр. 626—632.

³ Louis Joseph Gay Lussac, родился 6 декабря 1778 г. в Ст. Леонаре (в Лимузене). В 1795 г. — воспитанник Политехнической школы; в 1800г. — ассистент при лаборатории Бертолле; в 1802 г. — репетитор и в 1809 г. — профессор химии в Политехнической школе; в 1808 г. — также профессор в Сорбонне, позднее профессор химии в Jardin de Plantes; одновременно он был членом многих, технических обществ. 24 августа 1804 г. Гей-Люссак совершил совместно с Био, а 16 сентября 1804 г. — один, свои знаменитые воздушные полеты для наблюдения изменений температуры, влажности и химического состава воздуха, а равно и земного магнетизма на различных высотах. В 1805—1806 гг. Гей-Люссак объездил вместе с Л. Гумбольдтом Италию и некоторые части Германии. В 1807 г. он был избран членом известного Аркельского общества, основанного в том же году знаменитым Бертолле и состоявшего из весьма ограниченного числа его ученых друзей. В 1808 г. Гей-Люссак доказал, что газы соединяются химически в простых объемных отношениях. В 1813 г. он установил, что иод — простой элемент, а в 1815 г. открыл циан. В 1816 г. он описал устройство барометра, носящего его имя; в 1822 г. он занимался изучением движения облаков, а в 1823 г. — исследованием вулканических явлений. Начало его сочинения, озаглавленного „Философия химии“, первые главы которого были уже обработаны, было по его приказанию сожжено незадолго до его смерти. Гей-Люссак умер в Париже 9 мая 1850 г. Вместе с Араго он издавал наиболее выдающийся физико-химический французский журнал „Annales de chimie et de physique“.

РАБОТЫ ДАЛЬТОНА ПО РАСШИРЕНИЮ ГАЗОВ 107

рое разнится от каждого в отдельности не более как на 0,001. Соответствующие опыты для водорода дали: 0,3749 и 0,3756; для кислорода: 0,3747, 0,3754 и 0,3745; для азота: 0,3742, 0,3756, 0,3750, 0,3746 и 0,3755¹. Результат своих опытов Гей-Люссак выразил в следующих словах: *«Описанные выше опыты, которые были произведены мною с величайшей тщательностью, ясно показывают, что атмосферный воздух, кислород, водород, азот, пары азотной кислоты, аммиака, соляной, серной и угольной кислот при одинаковом повышении температуры расширяются тоже равномерно; что, следовательно, величина расширения не зависит от различных физических свойств или особой природы этих тел и что все газы вообще, насколько я могу заключить, расширяются от теплоты в одинаковой степени»*.

Дальтон², который стал заниматься тем же вопросом немного раньше Гей-Люссака, опубликовал часть своих результатов уже в 1801 г.³ Он изучал расширение, испытываемое воздухом, высушенным посредством серной кислоты, при нагревании его в градуированных трубках, и нашел, что при повышении температуры на 157° F расширение составляет 0,321 первоначального объема, а когда он ввел в расчет коэффициент расширения газа 0,004, то получил число 0,325. Если принять расширение воздуха равномерным, то для расширения воздуха между обеими постоянными точками термометра получается 0,373. Позднее, после ряда повторных опытов⁴, Дальтон дал в качестве общего результата своих измерений число 0,376 и притом не только для одного воздуха, но и для всех газов вообще и даже для всех паров. На этом основании коэффициентом расширения газов и было окончательно признано число 0,375; а закон, утверждавший общность этого коэффициента для всех газообразных тел, по всей справедливости получил название *дальтоно-гей-люссаковского*. Но Дальтон сам представлял себе этот закон в несколько ином виде, чем Гей-Люссак, и не совсем так, как этот закон был окончательно принят. Он сходиллся с Гей-Люссаком в том, что все газы расширяются одинаково; но он считал это расширение *неравномерным и даже утверждал*,

¹ „Annales de chimie et de physique“, XLIII, стр. 137, 1802. „Gilbert's Ann.“, XII, стр. 257. Гей-Люссак упоминает, что Шарль (изобретатель шарлиеров) уже за 15 лет до него заметил равномерность расширения главнейших газов, но не опубликовал своих наблюдений. Шарль при своих опытах наполнял чашку барометра исследуемым газом и держал его один раз при температуре окружающего воздуха, а другой раз при температуре кипения воды, и наблюдал при этом высоту уровня ртути.

² John Dalton родился 5 сентября 1766 г. в Игльсфилье (в Кумберленде), сын бедного ткача, был сначала помощником учителя, а с 1785 г. вместе с братом Джонатаном руководителем Кендальской школы. В 1793 г. он был приглашен учителем математики и физики в Манчестерский новый колледж. Позднее давал частные уроки по этим предметам и читал лекции в крупнейших городах Англии и Шотландии. Умер он 27 июля 1844 г. в Манчестере. Дальтон был членом Парижской академии.

³ „Nickolson's Journal“, V, 1801; Mém. of the Lit. a Phil. Soc. of Manchester, V, pt. II, стр. 595; Über die Ausdehnung d. expansiven Flüssigkeiten durch die Wärme, „Gilbert's Ann.“, LXII, стр. 310. Работа эта была уже в начале 1801 г. доложена Манчестерскому обществу.

⁴ A new system of chemical philosophy, London 1808 (2-е изд. 1842), 1, ст. 44.

что расширение всякого постоянного газа увеличивается в геометрической прогрессии, в то время как температура повышается в арифметической. Однако и формулировка Гей-Люссака должна была еще подвергнуться некоторому ограничению. Оба исследователя считали свой закон справедливым для всех вообще газообразных веществ, т. е. как для постоянных газов, так и для газов, поддающихся сжижению. Между тем позднейшие опыты показали, что последнего рода газы, когда температура их понижается настолько, что они приближаются к жидкому состоянию, более или менее отклоняются от общего закона в изменениях своих объемов, и что, следовательно, для этого рода газов рассматриваемый закон сохраняет всю свою силу лишь при температурах, далеких от точки их перехода в жидкое состояние¹.

Эти сжимаемые в жидкость газы или пары вообще представляли явления крайне сложные. Ясно, что закон Дальтона-Гей-Люссака может быть приблизительно верен для сжимаемых газов лишь в том случае, когда они ограждены от всякого количественного прироста. Если же они находятся в соприкосновении с жидкостью, из которой они выделяются, то, разумеется, не может быть и речи об объеме определенного количества паров при определенной температуре, так как количество их должно постоянно увеличиваться с повышением температуры. Пары, находящиеся в соприкосновении с жидкостью, остаются насыщенными при любой температуре, и увеличение объема и упругости подобных *насыщенных паров* должно следовать совсем иному закону, чем закон Дальтона-Гей-Люссака. С другой стороны, определение давления этих насыщенных паров при различных температурах имеет огромное значение для применения пара к механической работе, а также для метеорологических целей, и потому разрешение этого вопроса занимало физиков не меньше, чем определение коэффициента расширения газов.

Первое более подробное исследование *упругости водяных паров* было произведено Циглером из Винтертура в 1769 г.² Однако различные серии его опытов по своим результатам еще плохо согласовались между собою. К более правильным результатам пришел Джеймс Уатт в 1764 и 1765 гг., а затем позднее в 1773 и 1774 гг. Для более высоких температур он, подобно Циглеру, применял папинов котел, а для низких температур — барометр, верхнюю часть которого он окружал согревательным прибором, а в пустоту вводил немного воды³.

Бетанкур⁴ приделал в 1792 г. к папинову котлу *открытый манометр* того самого образца, который применяется до настоящего вре-

¹ Читатель обратит, конечно, внимание, что автор настоящей „Истории физики“ придерживается здесь совершенно устарелого для нашего времени деления газов на „постоянные“ и „поддающиеся сжижению“. Как известно, к настоящему времени уже все газы удалось перевести в жидкое состояние (последним — гелий в 1908 г.). *Прим. ред.*

² *Johann Heinrich Ziegler* (1738—1818), *Specimen phys.-chem. de digestore Papini*, Basel 1769.

³ Дополнения Уатта (Watt) к „*Robinson's mechanical philosophy*“, II, стр. 29. По *Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., II, стр. 317.

⁴ *Augustin de Betancourt* [(1760—1826), военный], *Mém. sur la force expansive de la vapeur de l'eau et de l'esprit du vin*, Paris 1792

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОСТИ ПАРОВ 109

мени. Его многочисленные опыты, прежде всего, интересны тем, что на основании их Прони (*Nouvelle arhitecture hydraulique*, Paris 1790 и 1796) пытался вывести *первую общую формулу для вычисления силы упругости пара* по заданной температуре — формулу, которая, однако, отличалась скорее своею сложностью, чем точностью. Немного позднее Шмидтом в Гиссене, Бикером и Руппом в Роттердаме были произведены тщательные опыты для определения упругости водяного пара¹. Но общее признание и притом на продолжительный отрезок времени получили только опыты Дальтона. Последний вводил в торичеллиеву пустоту чашечного барометра столбик жидкости, пары которой он желал исследовать, высотой в 2—3 линии; на конец барометрической трубки он для нагревания этой жидкости надевал более широкую стеклянную трубку, которая снизу совершенно закрывалась пробкой, а сверху закрывалась наполовину, для того чтобы можно было в нее свободно наливать воду различной температуры.

Для проверки этих опытов Дальтон кипятил те же жидкости под колоколом воздушного насоса при различных степенях разрежения воздуха. Для измерения силы упругости, превышавшей давление 1 *at*, он применял сифонный барометр, в короткое запаянное колено которого он наливал исследуемую жидкость, а длинное оставлял открытым². Мунке (*Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., II, стр. 328) выражается очень пренебрежительно о приборах Дальтона: «Нецелесообразность этого прибора бросается тотчас же в глаза и наводит на мысль, не получена ли большая часть дальтоновских результатов... при помощи (одного) воздушного насоса». Другие исследователи тоже отмечали, что в дальтоновских приборах температура нагревающей воды была неравномерна и не могла быть точно определена. При всем том его результаты оказались очень надежными и таблица упругости водяных паров, которую Био привел в своем «Учебнике экспериментальной физики» (1, стр. 259), целиком основана на опытах Дальтона.

Меньше успеха имела попытка Дальтона *подвести под один общий закон силу упругости паров различных жидкостей*. По его мнению, он своими опытами доказал, по крайней мере для серного эфира, спирта, жидкого аммиака, жидкого хлористого кальция, сернистой кислоты и ртути, что для *одинаковых температур ниже или выше точки кипения данных жидкостей, все пары этих жидкостей обладают равной упругостью*, и был склонен распространить это правило на все жидкости вообще. Этот мнимый закон был встречен с недоверием современниками, а впоследствии Дебре, Уре и другие доказали, что хотя он приблизительно верен для некоторых паров, но как общий закон он определенно неверен.

Теория Дальтона относительно *смеси газов и паров* тоже вызвала возражения, но выдержала испытание лучше предыдущей. Дальтон уста-

¹ .Gilbert's Ann.", X, стр. 257.

² Mem. of the Lit. a. Phil. Soc. of Manchester, V, pt. II, стр. 550. „Gilbert's Ann.", XV, стр. 1, 1803. Подробные отчеты о вышеупомянутых работах помещены также в *Fischer, Geschichte der Physik*, VII, стр. 509 и в *Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., II, стр. 316.

новил, что газы, каким-либо образом приходящие в соприкосновение, смешиваются между собой и вполне проникают друг друга даже в тех случаях, когда давление обоих газов одинаково или же когда тяжесть одного из газов должна была бы, по-видимому, противодействовать этому проникновению; другими словами, что *газ, попадающий в пространство, заполненное другим газом, распространяется здесь так, как если бы первого газа вовсе не существовало*. Присутствие одного газа представляет препятствие для поступления другого лишь в том смысле, что оно *замедляет его*; а *давление газовой смеси*, приведенное к равным объемам, равно *сумме давлений отдельных газов*, в предположение, конечно, что газы не действуют друг на друга химически. Этот закон Дальтон распространил и на *смесь газа с паром*, и даже на смесь *различных паров*. В защиту такого обобщения он, прежде всего, указал на то обстоятельство, что в пространстве, заполненном воздухом, жидкости испаряются так же сильно, а, следовательно, и упругость их возрастает в такой же мере, как и при соответствующих условиях в торичеллиевой пустоте, и что плотность воздуха при этом не оказывает никакого влияния на упругость паров ¹. Горячим сторонником этого дальтоновского закона *диффузии газов* выступал Гей-Люссак ², который, при помощи тонкого и остроумного аппарата, доказал его полную справедливость, по крайней мере, для атмосферного воздуха и паров. Био тоже не колеблясь включил дальтоновский закон в свой «Учебник экспериментальной физики» (1, стр. 271—277), а позднейшие опыты подтвердили его правильность для *смесей газов и паров*. По отношению к *смесям различных паров* этот закон оправдался только для тех случаев, когда жидкости, выделяющие пары, не смешиваются между собою. У других паров, как показали более поздние исследования Магнуса и Реньо, давление смеси лишь *приблизительно пропорционально* сумме отдельных давлений.

С установлением дальтоновского закона был окончательно разрешен вопрос об *испарении и выпаривании и навсегда отвергнута теория*

¹ Dalton, Über das Bestreben elastischer Flüssigkeiten sich durch einander zu verbreiten, из Mem. of the Lit. a. Phil. Soc. of Manchester, New Ser., т. 1; переведено в „Gilbert's Ann.“, XXVII, стр. 388—399, 1807. Различные колбы были соединены попарно (посредством стеклянных трубок 10 дюймов длины и $\frac{1}{20}$ дюйма толщины, пропущенных герметически через пробки) таким образом, что нижняя колба, содержащая всегда более тяжелый газ, стояла прямо, верхняя же была перевернута и стояла отвесно над первой. При одном опыте в нижней колбе находилась угольная кислота, а в верхней — водород, азот или пары азотной кислоты; при другом опыте в нижней находился водород, а в верхней — атмосферный воздух или кислород; наконец, при третьем опыте в нижней были пары азотной кислоты, в верхней — кислород, атмосферный воздух или водород. Во всех случаях по истечении нескольких часов в обеих колбах оказывались смеси соответствующих газов. „Опыты эти, — говорит Дальтон, — вполне убеждают меня в том, что две упругие жидкости, приведенные в соприкосновение, неизменно смешиваются между собой, даже в том случае, когда какие-либо движения внутри их тщательно устранены... Они доказывают, на мой взгляд, тот замечательный факт, что более легкая упругая жидкость не может оставаться отдельно над жидкостью более тяжелой... но что обе они постоянно стремятся проникнуть друг в друга..., причем удельный вес их не оказывает другого влияния, кроме замедления или ускорения процесса“.

² Gehler's physik Wörterbuch, 2. Aufl., II, стр. 401.

растворения ¹. Если насыщенность известного пространства для пара какой-либо жидкости независима от присутствия и свойства другого находящегося в том же пространстве газа, то последний, очевидно, не может быть причиной испарения жидкости, и, следовательно, абсолютно невозможно, чтобы жидкость испарялась только вследствие растворения ее атмосферным воздухом, с которым она приходит в соприкосновение. Напротив, отталкивательная сила теплоты *повсюду* стремится удалять друг от друга частицы жидкости и превращать ее в пар. Последнее не всегда возможно во *внутренних* частях жидкостей, так как атмосферное давление, воздействующее на верхние слои, задерживает образование паров, по крайней мере, до тех пор, пока постепенно нарастающая при нагревании упругость их не пересилит давления воздуха, после чего уже и начинается кипение. *На поверхности* же жидкости, где частицы только окружены атмосферой, теплота способна оказывать свое действие при всякой температуре, так как пространство, заполненное газом, ведет себя по отношению к поступлению в него паров, как пустое пространство. Вот почему с поверхности жидкости все время равномерно распространяются в пространство пары, которые поднимаются вверх против силы тяжести, атмосферное же давление никогда не может воспрепятствовать ни испарению, ни повсеместному распространению паров в пространстве, а способно только более или менее замедлить его. Давнишний спорный вопрос заключается теперь уже не в том, каким образом вода поднимается в облака, а в том, *каким образом вновь сгустившаяся из паров вода может держаться в облаках*. Для ответа на этот вопрос большинство прибегало еще к старой *теории пузырьков* ². Лишь немногие физики отрицали вообще возможность парения облаков и считали облака *скоплением водяных капелек, постоянно опускающихся в атмосфере*: но так как сопротивление воздуха по отношению к ничтожным размерам капелек очень велико, то падение капелек воды происходит так медленно, что малейший ток воздуха превращает это падение в подъем ³. Впечатление, произведенное теорией испарения Дальтона на современных ему физиков, очень характерно описано Эрманом («Gilbert's Ann.», XL, стр. 392,

¹ См. второй том настоящего сочинения (стр. 321 русского перевода 1933). Соссюр пишет в 1784 г. в своих „Essais sur l'hygrométrie" (стр. 224): „Совершенная прозрачность воздуха, насыщенного парами, исчезновение паров от тепла, их мгновенное появление от холода, их тесное соединение с воздухом, несмотря на различие их плотности, — все это несомненные признаки *настоящего химического растворения*".

² Впрочем, и эта теория претерпела некоторые изменения. От прежнего мнения, будто пузырьки по своему удельному весу легче атмосферного воздуха, уже отказались. Гей-Люссак („Annales de chimie et de physique", XXI, 1822) прибегает еще и к воздушному току, поднимающемуся вверх и предотвращающему падение пузырьков пара.

³ Известное деление облаков на перистые (Cirrus), кучевые (Cumulus) и слоистые (Stratus) было впервые предложено Л. Говардом (Luke Howard, An essay of the modifications of clouds, London 1802. — Перевод помещен в „Gilbert's Ann.", LI, стр. 1—48, 1815). Гете, очень интересовавшийся метеорологией, предложил ввести еще одну форму облаков „гребенчатую" (Pariet), но, насколько мне известно, без успеха (Naturw. Correspondenz, Leipzig 1874, I, стр. 64).

1812). «После того, как было фактически доказано, что упругость водяного пара и его количество в пустом пространстве совершенно те же, что и *под* атмосферным давлением, многим физикам не стоило особенных усилий отказаться от системы растворения ... Таким образом значительное большинство, обыкновенно не отличающееся строгой выдержкой, сразу оставило гипотезу растворения, не дав себе ясного отчета в том, что предполагает и что заключает в себе теория, сводящая все явления просто к одной температуре. Дальтон спокойно сделал выводы из этой теории и продолжал с мужественной выдержкой прокладывать себе дорогу между всеми устрашающими последствиями настоящего противорастворного учения. И тогда обе партии были поражены почти в одинаковой степени». Такие физики, как Траллес, Бертолле, Муррей, Томсон и многие другие, решительно отказались признать правильность дальтоновского воззрения на состав нашей атмосферы. Дальтону приходилось бороться с множеством возражений, имевших прочные точки опоры в господствовавшей тогда теории теплоты; и хотя он защищался с большим искусством, а иногда с излишним увлечением, тем не менее, недоверие к его теории окончательно исчезло только позднее с приближением к новейшему учению о теплоте.

Вообще научные труды Дальтона имели странную участь: их и восторженно превозносили и беспощадно порицали. Выше было уже отмечено, с каким высокомерием Мунке, обыкновенно столь объективный, отозвался о дальтоновских приборах. Приведем еще один из его суровых отзывов ¹: «Нелегко указать на исследования, которые обратили бы на себя столько внимания и были бы настолько оценены выше всяких заслуг, чем опыты, произведенные Джоном Дальтоном для открытия общего закона упругости паров». Фехнер ² замечает: «Дальтоновская гипотеза, согласно которой разнородные газы, составляющие атмосферный воздух, не производят друг на друга никакого давления, имеет пока успех у весьма немногих физиков, между которыми особенно выделяется Бенценберг по тому усердию, с каким он в течение целых 20 лет защищает эту теорию». Дове ³ высказывает следующее суждение: «Дальтоновское положение о связи упругости паров всех жидкостей, к сожалению, не подтвердилось; тем не менее, этот вывод дает такое значительное приближение наблюдаемых величин к вычисленным, что за недостатком лучшего им можно пользоваться». С другой стороны, Био во всех относящихся к этому вопросу отделах своего «Учебника экспериментальной физики» (1, стр. 251—281) принимает за основание опыты Дальтона, расценивая их очень высоко. Причины такого различия взглядов лежат отчасти в самом характере дальтоновских работ. «Подобно тому, как Дальтону рано пришлось самому прокладывать себе дорогу в жизни, так и в науке он вскоре отыскивал самостоятельные пути. Как у всех самоучек, в нем было меньше развито желание знать то, что сделали другие, чем твердая

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., II, стр. 327.

² Fechner's Repertorium d. Phys., 1832, I, стр. 108.

³ Dovés Repertorium d. Phys., 1837, I, стр. 58.

РАСШИРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ 113

уверенность в правильности найденного им самим... Острый ум побуждал его при проведении своих исследований, для которых в плодотворнейшую пору своей жизни он мог располагать лишь самыми скудными средствами, стремиться больше к возможному упрощению приборов и самих опытов, чем к достижению особенно тонких результатов; точность его количественных определений значительно уступает той, которая уже ранее была выработана его современниками. Но он и не особенно задумывался над степенью согласия эмпирических наблюдений с выводами из теоретических построений, если последние принадлежали ему самому, чтобы признать их действительными». Это замечание Коппа ¹, относящееся к *химическим работам* Дальтона и прилагаемое также к его *физическим исследованиям*, все-таки не вполне объясняет суровость суждений, высказанных по поводу работ Дальтона. Некоторая доля вины лежит, очевидно, и на тех лицах, которые их высказывали. Физики постепенно приучились смотреть на опыт, как на довлеющую себе цель, и считать точность опыта высшим критерием ценности научной работы. К этому присоединилась еще несколько чрезмерная осторожность — боязнь подвергнуть науку опасности попятных шагов и склонность изгонять из своей области всякое быстрое движение вперед, всякую смелую гипотезу. Конечно, с этой точки зрения Дальтон с множеством допущенных им в своих опытных данных неточностей, а равно со своим зачастую слишком поспешным построением законов природы, должен был подвергнуться строгому осуждению. Однако позднее оказалось, что *руководящие мысли Дальтона были светлы и плодотворны, что в соединении с более совершенной техникой опытов им суждено было двинуть науку вперед по настоящему пути*. И в наши дни только историк науки останавливается на теневых сторонах, которые совершенно естественно и неизбежно должны иметь место и в трудах Дальтона.

Для исследования *расширения капельных жидкостей* Делюк, а в несколько измененной форме и Гей-Люссак ² употребляли открытые термометры, Г. Г. Шмидт ³ — ареометры с грузом, Дюлонг и Пти ⁴ — сообщающиеся трубки, одно колено которых они держали при нормальной температуре, а другое нагревали до желаемой температуры. Все эти опыты показали, что *предположение Дальтона, будто расширение всех однородных жидкостей пропорционально квадрату температур, не соответствует действительности*. Расширение, правда, увеличивается с температурой, но это возрастание иное и, по всей вероятности, оно следует различным законам для отдельных жидкостей. Особенное затруднение вызывали *аномалии*, встречающиеся при изучении расширения жидкостей. По отношению к воде уже давно было замечено, что, начиная с известной температуры, дальнейшее понижение последней дает расширение объема вместо сокращения последнего; но до некоторого времени *эту аномалию были склонны признать мнимой*,

¹ Kopp, Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit, München 1874, стр. 287—288.

² „Annales de chimie et de physique", II, стр. 130, 1816.

³ „Green's Neues Journal", I, стр. 126.

⁴ „Annales de chimie et de physique", II, стр. 130. 1816.

114 РАСШИРЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

предполагая, что она вызывается не особенностями воды, а является результатом сжатия сосуда, содержащего воду. Делюк ¹, по-видимому, первый стал относить причину этого явления к самой воде и определил *точку наибольшей плотности* ее. Последняя у него определилась несколько выше действительной вследствие того, что им не было принято в расчет сжатие сосуда, а именно Делюк получил 5° С; в силу той же причины он нашел, что и для одинаковых разностей температур выше и ниже этой точки объемы, жидкостей одинаковы. Дальтон ², который тоже упустил из виду расширение сосуда, определил температуру наибольшей плотности еще выше Делюка, а именно 5,83° С. Румфорд ³ пытался разрешить этот вопрос, охлаждая воду в открытом сосуде с поверхности и наблюдая температуру, при которой вода переставала опускаться. Хотя этот способ и теперь еще считается хорошим в принципе, Румфорд мог определить только пределы для температуры наибольшей плотности, которые оказались между 4 и 5° С.

Точные измерения *расширения твердых тел* были предприняты, в связи с интересными наблюдениями Рише в Кайенне и спорами, которые они возбуждали ⁴. Однако несовершенство тогдашних термометров было достаточной причиной для того, чтобы тщательные исследования Далансе, Пикара, Ла-Гира, Дергама и др. *не могли привести к согласным результатам*. Даже известный пирометр ⁵ Мушенбрека дал сомнительные результаты, так как исследуемый брусок не был надлежащим образом укреплен и действие нагревания распространялось не только на брусок, но и на измерительный прибор. Смитон (Smeaton, Philosophical Transactions, XLVIII, 1754) получил уже несколько более точные числа. Но действительно ценные и пригодные для практики результаты были получены впервые Лавуазье и Лапласом. Они избрали в качестве постоянных, находящихся вне влияния тепла точек каменные столбы, а для измерения расширения применили зрительную трубу, которая вращалась три удлинении нагреваемого металлического стержня. Однако их опыты остались сначала незамеченными и стали впервые общеизвестными благодаря Био ⁶.

Определение расширения тел во многих отношениях теоретически и практически зависит от их *теплопроводности*. Поэтому естественно, что исследование шло рука об руку с описанными выше работами.

¹ Untersuchungen über d. Atmosphäre, 1776, 1, стр. 439. „Gilbert's Ann.", I, стр. 471.

² Mem. of the Lit. a. Phil. Soc. of Manchester, V, pt. II, стр. 373; „Gilbert's Ann.", XIV, стр. 184.

³ Über ein merkwürdiges Gesetz bei der Verdichtung des Wassers durch Kälte „Gilbert's Ann.", I, стр. 436 (из „Exper. essays pol-oecon. a. phil.", essay VII, London 1797); Über einige Experimente etc., „Gilbert's Ann.", XX, стр. 369 (из „Nickolson's Journal", XI, 1804); Berzelius (Jahresbericht über die Fortschr. d. Phys. a. Chem. IV, стр. 73, 1824) приписывает открытие аномального расширения воды Румфорду, однако последний („Gilbert's Ann.", XX, стр. 370) сам признает, что Делюк за много лет до него впервые сообщил об этом явлении.

⁴ См. вторую часть настоящей работы (русский перевод, стр. 189).

⁵ См. вторую часть, стр. 325 (русский перевод, стр. 302).

⁶ Учебник экспериментальной физики, 1, стр. 228.

Рихман ¹ брал (в 1750—1751 гг.) шары из различных металлов, но одинаковой величины, и наблюдал время *одинакового их охлаждения*; при этом он установил такого рода последовательность: *свинец, олово, железо, медь, латунь*, и отсюда пришел к выводу, что свинец всего быстрее воспринимает теплоту и отдает ее и т. д. Во всяком случае полученный им ряд доказал, что, вопреки существовавшему раньше мнению, *теплопроводность тел во всяком случае непропорциональна их плотности*. Франклин и немного позже Ахард ² были склонны думать, что *теплопроводность тел равна их электропроводности*. Для разрешения этого вопроса, Ингенгоус ³, по предложению Франклина, покрыл проволоки из различных металлов слоем воска, опустил концы их в сосуд с горячим маслом и наблюдал скорость распространения тепла, необходимого для плавления воска на различных проволоках. Согласно его опытам порядок распределения металлов по «их теплопроводности оказался почти противоположным рихмановскому, а именно: *серебро, медь, золото, железо, сталь, свинец*. Разногласие объясняется тем, что Ингенгоус приписал более высокую теплопроводность тому металлу, у которого плавление воска происходило всего выше, т. е. по которому тепло проникало всего дальше; И. Т. Мейер ⁴, напротив, был склонен приписать большую проводимость тому металлу, который всегда быстрее отдавал тепло наружу и на котором, следовательно, воск плавился всего медленнее; при таком истолковании опыты Ингенгоуса и Рихмана должны были привести к одинаковым выводам ⁵. Как мы увидим ниже, Фурье доказал, что оба противника были в равной мере и правы и неправы.

Совершенно иначе кончился спор о *проводимости тепла жидкостями*, возникший после работ графа Румфорда. Бюффон утверждал (как и многие до него), что жидкости проводят тепло лучше, чем твердые тела; Румфорд же доказал совершенно обратное. Уже в 1786 и 1792 гг. он напечатал в Philosophical Transactions статьи о теплопроводности различных веществ; в 1797 г. появились вызвавшие наибольший интерес исследования его относительно жидкостей ⁶. Поводом для этих исследований послужило наблюдение, что густая пища остывает очень медленно и что в воде, нагревавшейся снизу в широ-

¹ Петербургский академик, см. вторую часть настоящей работы, стр. 318 (русский перевод, стр. 296).

² Franz Carl Achard (1753—1821), директор физич. отд. Берлинской академии.

³ Vermischte Schriften, phys.-medic. Inhalts, übersetzt von Molitor, Wien 1784, Teil II; „Green's Neues Journal“, 1, стр. 154. Fischer, Geschichte d. Physik, VI, стр. 332 и сл.

⁴ Johann Tobias Mayer [(1752—1830) — профессор математики и физики в Альтдорфе, Эрлангене, Геттингене, сын знаменитого астронома], Über d. Gesetze und Modificationen des Wärmtstoffs, Erlangen 1786; Über die Wärmeleitende Vermögen der Körper, „Green's Neues Journal“, III, стр. 19, 1791; „Über das Gesetz, welches die Leitungskräfte etc., „Green's Neues Journal“, IV, стр. 23, 1791.

⁵ Rikkenbach, Entwicklung der Grundbegriffe der Wärmefortpflanzung, Basel, 1884. стр. 36.

⁶ „Experimental essays, pol.-oecnom. a. phil.“, essay VII, London 1797, извлечение в „Green's Neues Journal“, IV, стр. 48; Versuche und Beobachtungen über die Fortpflanzung der Wärme in Flüssigkeiten, — продолжение в „Gilberts Ann.“, I, стр. 214—241 и 323—351.

кой трубе, на одной стороне постоянно поднимались токи, которые на другой стороне опускались вниз. Сопоставляя оба эти явления, Румфорд предположил, что частицы жидкостей способны воспринимать тепло от других тел и отдавать его другим, но что между частицами самой жидкости передачи тепла не происходит; другими словами, что *жидкости* никогда не нагреваются путем внутренней проводимости, а только внутренними токами, и что, следовательно, *жидкости являются абсолютными непроводниками* тепла. Для того чтобы это убедительнее доказать, он положил в цилиндрический стеклянный сосуд ледяной кружок, имевший острие, и налил сверху оливковое масло; после этого ввел туда железный цилиндр, нагретый в кипятке; он приближал его на расстояние 0,2 дюйма к острию и при этом не замечал признаков таяния или какого бы то ни было изменения в ледяном острие, — если только он опускал цилиндр в «масло настолько осторожно, чтоб не вызвать в нем токов».

Несмотря на всю убедительность этого опыта, выводы Румфорда вызвали сильную бурю между тогдашними физиками. Делюк ¹ выступил с теоретическими возражениями, исходя из своей теории теплоты; Никольсон ² пытался опровергнуть самые опыты Румфорда рядом других опытов; Соке ³ доказал, что, по крайней мере, сквозь ртуть получается таяние льда от поставленного поблизости горячего цилиндра; Муррей ⁴ утверждал, что при опускании термометра в масло он все-таки наблюдал некоторое повышение температуры. Между тем Дальтон ⁵ уже в 1799 г. пришел к заключению, что хотя у воды и нельзя вполне отрицать наличия теплопроводности, но что последняя во всяком случае ничтожно мала сравнительно с теплопроводностью твердых тел. На этот компромисс вскоре пошло большинство физиков, и Фишер в своей «Истории физики» (VII, стр. 362, 1806) выражается по этому поводу очень определенно: «Граф Румфорд, по-видимому, доказал, что упругие и неупругие жидкие вещества являются плохими проводниками тепла, но во всяком случае не являются совершенными непроводниками» ⁶.

БАТАРЕЯ ВОЛЬТЫ (приблизительно от 1800 до 1820 г.). Спор между электрическими теориями Гальвани и Вольты достиг в конце XVIII в. той точки, на которой почти нельзя было думать о скором его разрешении. Гальвани наблюдал электрические сокращения ног у лягушек без применения металла, а Вольта при полном отсутствии органических веществ получал при посредстве своего конденсатора,

¹ „Gilbert's Ann.", I, стр. 464, 1798.

² „Nickolson's Journal", V, стр. 197.

³ „Gilbert's Ann.", VI, стр. 407.

⁴ „Gilbert's Ann.", XIV, стр. 158, 1803.

⁵ Manch. Mem., V, pt. II, стр. 373, 1802; On the power of fluids to conduct heat, with reference to Count Rumphord's seventh essay on the same subject, „Gilbert's Ann"., XIV, стр. 184.

⁶ Наблюдения, на основании которых можно было сделать вывод о малой теплопроводности жидкостей, были уже, впрочем, давно известны: Демаре {Desmarest. „Rozier's Journ.", XXIII, 781), например, сообщил, что железные гвозди на дне большого сосуда, наполненного водой, даже в большие морозы покрывались льдом только в том случае, когда воду взбалтывали.

несомненно, электрические явления от соприкосновения металлов. Гальвани умер, не успев привлечь к своим опытам должного внимания. Вольте же удалось вскоре настолько укрепить учение о *металлическом электричестве*, что идея Гальвани о животном электричестве была отеснена на задний план и была вообще надолго забыта.

По собственным словам Вольты он построил носящий его имя столб в конце 1799 г. Первое сообщение было им сделано в письме из Комо на имя президента Королевского общества сэра Джозефа Банкса, от 20 марта 1800 г.¹ Этот способ по его описанию состоял из некоторого числа круглых пластинок из серебра или меди, равного числа цинковых пластинок и такого же числа кружков из папки, кожи, сукна и т. п., пропитанных водой, а еще лучше слабым щелочным раствором. Эти пластинки следовало укладывать таким образом, чтобы серебро, цинк и влажный картон, все время, чередуясь, следовали друг за другом. Кроме этого столба Вольта в том же письме приводит описание своего *чашечного прибора*. Берут несколько стаканов, наливают в них теплой воды или соляного раствора и опускают в каждый из них по одной серебряной и одной цинковой пластинке, с тем, однако, чтобы последние не касались друг друга. К каждой пластинке должен быть приделан удлиненный металлический крючок, при помощи которого можно было бы соединять каждую цинковую пластинку одного из стаканов с серебряной пластинкой другого. Замыкание цепи между серебром первого и цинком последнего стакана вызывает те же электрические явления, как и столб².

Сильное электрическое действие обоих этих приборов было объяснено Вольтой на двух докладах, сделанных им Французскому национальному институту в Париже 7 и 21 ноября 1800 г., следующим образом³. От соприкосновения двух металлов различной проводимости, например серебра и цинка, нарушается равновесие электричества, находящегося в обоих металлах. В точке соприкосновения положительное электричество направляется от серебра к цинку и накапливается на последнем в то самое время, как отрицательное сгущается на серебре. При наложении друг на друга элементов из серебра и цинка без промежуточных членов, цинковые пластинки снизу и сверху находятся в соприкосновении с одной и той же серебряной

¹ „Gilbert's Ann.", VI, стр. 340, 1800 (по сообщению Никольсона в его журнале, IV, стр. 179); подробности в Philosophical Transactions, 1800.

² Как ни поразил физиков вольтов столб, он не был, однако, совершенной новинкой. К статье Фоулера (*Richard Fowler*, Experiments a. observ. relative to the influence lately discovered by Mr. Galvani and commonly called animal electricity, London 1793) было приложено письмо Робайсона, в котором говорится: „Я беру несколько кусков цинка, величиной в шиллинг и укладываю их попеременно с таким же числом настоящих шиллингов в столбик. Подобная установка в некоторых случаях заметно увеличивает раздражение, и некоторое видоизменение его даст, я надеюсь, еще более сильные явления. Если такой столбик приложить к языку боком так, чтобы язык касался всех сложенных вместе кружков, то раздражение оказывается очень сильным и неприятным".

³ Ср. „Gilbert's Ann.", IX, стр. 489 (первое сообщение); X, стр. 389 (сообщение Био по поручению комиссии Национального института); X, стр. 421 и XII, стр. 497 (статьи Вольты).

118 РАБОТЫ ВОЛЬТЫ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

пластинкой, и общее их действие сводится к нулю. Свободно проявиться может только действие нижней серебряной и верхней цинковой пластинок; все же лежащие в промежутке пластинки являются простыми проводниками электричества, а весь столб как бы состоит из одной только пары пластинок. Для того чтобы действие отдельных пар пластинок могло суммироваться, следует каждую цинковую пластинку привести в соприкосновение только с одной серебряной; это и достигается как раз тем, что на каждую цинковую пластинку кладут мокрый кружок, отделяя ее тем самым от серебряной, но, не преграждая при этом пути для электричества. Кружки из третьего металла взамен жидкого проводника непригодны; они вызвали бы в столбе противоположные токи и таким образом, по крайней мере, частично нейтрализовали бы действие столба. Жидкости же, вследствие малой их проводимости, дают с металлами лишь ничтожные электрические напряжения, и потому сочетание проводников первого и второго разряда совершенно необходимо для того, чтобы столб давал умноженное действие отдельных элементов.

Однако Вольта при посредстве своего прибора не открыл тотчас же новых свойств гальванического электричества. При помощи его были воспроизведены известные уже раньше явления, но только в необычайно усиленной степени. Вместо мышечных сокращений получились сильные чувствительные удары при прикосновении влажными руками к полюсам столба; световые явления в глазу и вкусовые на языке были гораздо резче прежних; когда проволоки от обоих полюсов вкладывали в уши, то в голове чувствовался треск, настолько сильный, что Вольта, однажды проделав этот опыт, не решался уже его повторить. Только одного из обычных электрических явлений Вольте не удавалось получить посредством столба, именно — электрического запаха, вероятно, потому, что это электричество не было способно распространяться свободно в воздухе. Национальный институт отнесся с большим интересом к опытам Вольты. Особая комиссия, докладчиком которой был Био, сообщила в заседании 1 декабря 1801 г., что произведенные ею опыты вполне подтвердили выводы Вольты. Тогда институт учредил по предложению Бонапарта, присутствовавшего при докладах Вольты, две премии (большую — за капитальное открытие и меньшую — ежегодную) за лучшие работы в этой новой области физики и тотчас же присудил Вольте большую золотую медаль института¹. Несмотря на установление этих премий, французы вначале не дали в этой области ничего капитального. Разработка учения о гальваническом электричестве вплоть до развития электромагнетизма принадлежит, прежде всего, англичанам, а затем и немцам.

¹ „Gilbert's Ann.", X, стр. 408; Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., IV, стр. 571. Вольтов столб и чашечный аппарат оказались его прощальными дарами физике. С 1802 г. до конца своей жизни (1827 г.) он уже ничего не опубликовал, за исключением небольших статей *о граде и грозах*. Одни биографы объясняют это умственным истощением Вольты, другие — опасением со стороны Вольта уронить себя в глазах физиков менее значительными работами. Наличие упомянутых выше работ, по-видимому, исключает последнее предположение.

Банкс вскоре по получении письма Вольты сообщил о нем сэру Антони Карлейлю ¹. Последний вместе с Никольсоном ² устроил 30 апреля 1800 г. столб из 17 пар пластинок и получил не только все ожидаемые явления, но еще раньше, чем письмо Вольты было доложено Королевскому обществу ³, сверх того, сделал открытие, которому суждено было приобрести в будущем не меньшее теоретическое и практическое значение. Именно, налив каплю воды на верхнюю цинковую пластинку для более надежного контакта ее с проводящей проволокой, он заметил, что из капли, при опускании в нее упомянутой проволоки, выделяется газ, запах которого показался Никольсону «похожим на запах водорода». Он взял стеклянную трубку $\frac{1}{2}$ дюйма в диаметре, налил в нее свежей ключевой воды, заткнул ее с обоих концов пробками, сквозь которые он пропустил латунные проволоки так, чтобы концы их находились друг от друга на расстоянии $1\frac{3}{4}$ дюйма, и затем присоединил обе проволоки с полюсами столба. Тотчас же с конца проволоки, соединенной с серебром, начала подниматься тонкая струйка воздушных пузырьков, конец же второй проволоки начал покрываться налетом и под конец почернел. При обратном соединении проволок получались и обратные явления. Полученный газ, смешанный с равным количеством воздуха, при зажигании давал взрыв. Когда вместо латунных проволок взяли платиновые, то на концах обеих образовался газ, однако, на проволоке, соединенной с цинком, в значительно меньшем количестве, чем на другом. Отсюда оба исследователя сделали тот вывод, что газ, выделявшийся на цинковом конце, есть кислород. Хотя уже и раньше было известно, что искра электрической батареи разлагает воду, тем не менее, тот факт, что такое же явление получается с большим постоянством от *сравнительно слабых гальванических токов*, произвел большую сенсацию. Риттер сообщил в сентябре 1800 г. ⁴, что он собрал отдельно оба газа, выделяющиеся при разложении воды, что все жидкости при известных условиях выделяют газы и, наконец, что при действии тока из медного купороса осаждается медь. Крюикшенк в том же 1800 г. доказал, что многие *соляные растворы* разлагаются гальваническим током; причем кислоты собираются на положительном, а металлы на отрицательном полюсе ⁵. Около того же времени и Дэви предпринял свои исследования, которые при дальнейшем своем развитии получили столь большую известность. Первое сообщение по этому вопросу он послал в Лондон из Бристоля в сен-

¹ Antony Carlisle (1768—1840), жил в Лондоне, врач.

² William Nickolson (1753—1815), был последовательно — чиновником Ост-Индской компании, — разъездным комиссионером, — директором училища и, наконец, — инженером и писателем в Лондоне. С 1786 по 1813 г. издавал „Journal of natural philosophy, chemis. and the arts“. В июльской книжке четвертого тома этого журнала помещено в указанной выше монографии наблюдение Никольсона по вопросу о разложении воды. („Gilbert's Ann.“, VI, стр. 346.)

³ Письмо это было доложено только 26 июня 1800 г. (Hoppe, Geschichte d. Electricität, стр. 133.)

⁴ „Gilbert's Ann.“, VI, стр. 470.

⁵ „Nickolson's Journal“, IV, стр. 187, 254; „Gilbert's Ann.“, VI, стр. 360; VII, стр. 88.

120 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОХИМИИ

тябре 1800 г. Первая серия этих опытов Дэви, о которых было сообщено в журнале Никольсона до 1802 г., касалась только *разложения воды*. До него наблюдатели заметили только, что оба продукт разложения собираются в различных местах, Дэви же прямо показал, что эти газы могут быть собраны в совершенно отдельных сосудах. Он взял две открытые с одной стороны стеклянные трубки в $\frac{1}{3}$ дюйма ширины и 4 дюйма длины, сквозь запаянные другие концы которых были пропущены золотые проволоки. Трубки эти он наполнил дистиллированной водой и обе в перевернутом виде опустил в один общий сосуд, тоже наполненный перегнанной водой. Золотые проволочки трубок были затем соединены с концами вольтова столба, а вода в обоих стаканах была приведена в сообщение посредством свежих мышечных волокон. Тотчас же в трубках началось образование газа у золотых проволочек, притом сильнее на той проволочке, которая шла от серебра. Здесь по истечении $4\frac{1}{2}$ час. трубка наполнилась газом вплоть до места соприкосновения конца проволоки с водою, после чего этот процесс прекратился. *Точное определение объемного отношения*, в котором образуются газы, оказалось при этом далеко не таким легким, как этого можно было ожидать, может быть, потому, что вода, служившая для опыта, могла уже ранее, до начала опыта, содержать в растворе воздух, или же потому, что во время самого опыта часть выделявшегося газа растворялась в воде. Тем не менее, после осуществления некоторых мер предосторожности Дэви все-таки удалось доказать, что электрический ток выделяет из воды почти вдвое больше водорода, чем кислорода, как и следовало ожидать на основании всем известного состава воды ¹.

Соединение воды обоих стаканов мышечным волокном было, очевидно, отголоском старых представлений Гальвани о свойствах мышечных волокон; Дэви, однако, не остановился на этом. Он пробовал соединять сосуды собственным телом или влажными растительными волокнами или смоченными нитками, — и во всех случаях он получал то же химическое разложение, но только более скорое или медленное, в зависимости от степени проводимости различных веществ. Таким образом Дэви вполне удалось отделить друг от друга вещества, получаемые при электрическом разложении. Нужно заметить, что кажущийся перенос продуктов разложения гальваническим током, вскоре установленный для всех возможных жидкостей, составлял *главное затруднение* при попытках *объяснить* эти поразительные явления.

Но прежде чем мы подробнее изложим все относящееся к данному вопросу, мы остановимся здесь еще на *экспериментальном развитии электрохимизма*. Готро ² в 1802 г. заметил, что две золотые проволоки, соединенные с полюсами батареи, дают очень слабый вкус, если их приложить к языку; если же их разобщить с батареей и соединить оба освободившихся конца, продолжая держать два других конца на языке, то ощущаемый вкус становится гораздо резче. Риттер ³ за-

¹ „Nickolson's Journal", IV, стр. 275, 326: „Gilbert's Ann.", VII, стр. 114.

² Nicolas Gautherot (1753—1803) — преподаватель музыки в Париже.

³ Johann Wilhelm Ritter родился 16 декабря 1776 г. в м. Самиц близ Гейнау в Силезии. Был сначала фармацевтом, в 1795 г. — студентом в Йене; с 1804 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОХИМИИ 121

нялся исследованием этого явления со свойственным ему увлечением. Он взял золотые проволоочки, служившие концами полюсов при разложении воды, положил их этими концами на язык, а противоположные соединил вместе. Тотчас получился гальванический вкус, как при соединении проволок с вольтовым столбом, но с той разницей, что теперь проволоочка, служившая положительным полюсом, дала щелочной, а прежний отрицательный полюс — кислый вкус. После многих опытов с такими проволоками Риттер устроил, наконец, целый столб из 40 медных пластинок и 40 влажных промежуточных кружков и соединил его полюса проволоками с вольтовой батареей из 100 элементов. Когда соединение их после известного времени было прервано, каждый столб стал действовать самостоятельно, как вольтова батарея, с той, однако, разницей, что его полюсные концы оказались противоположными тем полюсам, с которыми они раньше были соединены. Эти *вторичные* или *зарядные столбы* возбудили большой интерес и послужили поводом для многочисленных работ. Риттер объяснил их действие, как показывает само название, предположением, что электричество первичного столба *накаплиется* во вторичном. Ему показалось, что он наблюдал *тем сильнейшее заряджение* вторичного столба, чем *худшим* проводником была та жидкость, которой были пропитаны кружки ¹. Против этого объяснения, которое само по себе представляется невероятным, вследствие происходящего здесь обмена электричеств, Вольта возразил, совершенно правильно указывая, что благодаря разложению воды медный кружок с одной стороны заряжается водородом, а с другой — кислородом и что, таким образом, здесь получается столб, составленный из одного металла и двух жидкостей ². После этого вопрос казался тогдашним физикам исчерпанным и дальнейших последствий не имел. Вообще Риттер держался собственных воззрений на химические силы электрических токов и на получение водорода и кислорода из воды. Он склонялся еще к старому воззрению, что *вода представляет собою простое тело* и на положительном полюсе целиком превращается в водород, а на отрицательном — в кислород ³. В противоположность ему Дэви постарался прямо доказать, что происхождение новых веществ из воды невозможно и что все посторонние тела, как то: *кислоты, металлы* и пр., встречающиеся иногда при разложении воды, получаются в результате загрязнения ее извне полюсными проводами, сосудом и т. д. При дальнейшем развитии своих исследований Дэви удалось осуществить и разложение *щелочей*, о которых уже со времени Лавуазье, по меньшей мере, подозревали, что они состоят из

был членом Мюнхенской академии. Он умер в Мюнхене в 1810 г., 33 лет от роду. Трудно дать правильную оценку характера этого человека: гениальность, широта взглядов, смелость мысли, пылкое стремление вперед соединялись в нем с отсутствием необходимой выдержки, осторожности и критики, вследствие чего он легко сбивался с правильного пути и впадал в непонятные заблуждения.

¹ Первые относящиеся сюда опыты Риттера помещены в Voigt's Mag. of Naturk., VI, 1803.

² Hoppe, Geschichte der Electricität. стр. 165.

³ „Gilbert's Ann.", IX, стр. 265—326.

122 ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА

металлов и кислот. Дэви¹ пропустил электрический ток батареи из 100 пар пластинок (в 6 дюймов в квадрате) через едкое кали, которое он держал на платиновой ложечке в расплавленном состоянии при краснокалильном жаре. Когда он привел положительный полюс в контакт с платиновой ложечкой, а отрицательный погрузил в едкое кали, то все время пока эта связь поддерживалась, он замечал на отрицательной проволоке яркий свет, а в точке соприкосновения огненный столб, который происходил как будто от какого-то освобождавшегося здесь горячего тела. При обратном включении полюсных проводов он наблюдал на положительном полюсе яркое и постоянное пламя, но вместе с тем там не было ничего похожего на горение. Зато из едкого кали поднимались пузырьки газа, которые один за другим загорались в воздухе. Так как кали было совершенно сухое, то Дэви отсюда сделал тот вывод, что горячее тело, появляющееся на отрицательном полюсе, получается от *восстановления самого кали*. При помощи еще более сильного прибора, а именно батареи в 250 шести- и четырехдюймовых пар пластинок, ему действительно вскоре удалось получить в значительном количестве это горячее тело, новый блестящий металл *калий*, предохранить его от окисления и сохранить в неизменном виде под нефтью. Из едкого *натра* ему тоже удалось получить посредством того же аппарата сходный металл *натрий*, а в 1808 г. им были добыты таким же путем металлы щелочных земель.

Успешные исследования Дэви яснее всех прежних работ показали важность новой физической силы — гальванического электричества. Они побудили физиков стать в значительной мере химиками, химикам же они обещали легкие открытия с помощью ясного метода. Физики получили возможность объяснить все гальванические загадки химическими процессами; а химики, наоборот, — возможность объяснить основу всех химических явлений — сродство веществ; наконец, и те и другие могли уже хотя бы заподозрить причинную связь между двумя, а быть может, и между всеми вообще силами природы. Поэтому неудивительно, что работы Дэви вызвали к жизни наряду с практическими работами и чисто теоретические исследования.

Мы уже указали, что при электрохимическом разложении всего более бросались в глаза кажущееся передвижение продуктов разложения и выделение их отдельно на каждом из полюсов. То и другое требовало какого-то объяснения, которое, однако, не легко было дать. Своеобразное объяснение, данное Риттером, нам уже известно. Эрманд, равно как Крюикшенк, Фукруа, Вокелен и Тенар, утверждал, что вода разлагается на одном только положительном

¹ On some new phenomena of chemical changes produced by electricity, particularly by the composition of fixe dalxalies, Philosophical Transactions, 1808 (прочитано в ноябре 1807): „Gilbert's Ann.", XXXI, стр. 113—175, 1809. Первое известие об открытиях Дэви было получено еще в ноябре 1807 г. из писем в Германию. Какое впечатление они произвели, можно видеть из слов берлинского профессора Гермштедта (1760—1833) в „Gilbert's Ann.", XXXVI, стр. 190, 1807: „Что щелочи и щелочные земли, даже в простейшем своем виде, не являются простыми телами, в этом я убежден; но я очень сомневаюсь, чтобы мы уже настолько приблизились к их разложению благодаря трудам г. Дэви, как это может показаться на первый взгляд”.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДЭВИ И БЕРЦЕЛИУСА 123

полюсе. Кислород выделяется здесь один, так как освобождающийся водород связывается электрическим током и получается в свободном состоянии только там, где ток поступает в отрицательный полюс. Такому во многих отношениях неправдоподобному объяснению была противопоставлена в 1805 г. другая теория Гротгуса ¹, к которой примкнули Дэви и последующие физики, и которая с незначительными изменениями сохранилась до наших дней ². Согласно этой теории при действии электрического тока на воду молекулы ее, прежде всего, выстраиваются в известном порядке: все атомы кислорода поворачиваются в сторону положительного полюса, а все атомы водорода — в сторону отрицательного. Положительный полюс отторгает затем от ближайшей к нему водяной молекулы кислород и изолирует его. Освободившийся атом водорода притягивает к себе ближайший атом кислорода, следующий за ним свободный водородный атом — опять соседний кислородный, и разложение распространяется таким образом по всей жидкости, пока, наконец, на отрицательном полюсе остается последний атом водорода. С освобождением этого последнего атома, молекулы, принявшие теперь обратное направление, под продолжающимся действием тока поворачиваются в прежнее положение, и разложение начинается вновь.

Но если кажущееся передвижение продуктов разложения могло быть этим путем объяснено, то главный вопрос об уничтожении химического сродства электричеством оставался еще без ответа. Но в ту эпоху, когда все физические силы считались основными свойствами особых материй, этот вопрос можно было разрешить, только исходя из предположения, что электрические и химические силы тождественны или же что они представляют собой два различных проявления одной и той же основной силы. Во всяком случае, уже считали особенно важным приобретением то обстоятельство, что открывалась возможность объяснить совершенно недоступные нашим чувствам химические сродства электрическими силами, действие которых можно было непосредственно наблюдать. Дэви прямо высказал эту мысль еще до открытия им щелочных металлов в записке, прочитанной им перед Королевским обществом в ноябре 1806 г. Электрические и химические притяжения имеют, по его мнению, одну общую причину, которая, однако, в первом случае действует только между массами тел, а во втором — между атомами этих масс. Берцелиус руководился теми же идеями при разработке своей новой теории химии, своей электрохимической системы, которая получила всеобщее признание и продержалась почти до 1840 г., не будучи никем оспариваемой. Согласно этой системе атомы всех элементов обладают первоначальной электрической полярностью, но только лежащие на противоположных сторонах противоположные полюсы неодинаково сильны; соответственно этому все элементы, в зависимости от боль-

¹ Von Grothuss [(1785—1822) провел годы с 1803 по 1808 для научного образования в Лейпциге, Париже, Риме, Неаполе, а затем жил в своем имении Геддуц в Литве)], *Mém. sur la décomposition de l'eau*, Rome 1805 (см. также „*Annales de chimie et de physique*“, LVIII, 1806).

² Т. е. 1887 г. *Прим. ред.*

124 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДЭВИ И БЕРЦЕЛИУСА

шего или меньшего преобладания в них того или другого электричества, могут быть распределены в ряд, члены которого обнаруживают *тем сильнейшее химическое сродство* между собою, *чем дальше* они отстоят друг от друга в этом ряду. И молекулы сложных тел обладают такою же полярностью, вследствие чего они и могут вступать в соединения с другими, образуя новые еще более сложные тела. Дэви впоследствии¹ жаловался, что некоторые лица не признают за ним надлежащих прав в разработке электрохимической теории, приписывая часть открытия многих важных моментов, разработанных им раньше кого-либо другого, философам, которые никогда не заявляли и не могут заявлять притязаний на первенство, так как их работы по этому вопросу появились лишь на несколько лет позже 1806 г. Берцелиус, почувствовавший себя до известной степени задетым таким заявлением, возразил² на это, указав, что уже в августовском выпуске Галеновского химического журнала за 1803 г. он напечатал статью под заглавием: «*Versuche über Wirkungen der elektrischen Säule auf Salze und auf einige ihrer Basen*» («Опыты над действием электрических столбов на соли и некоторые их основания»), в которой им уже была высказана основная мысль электрохимической системы. Для доказательства он процитировал из нее следующие места: 1) «При разрядах электрического столба через жидкость, составные части последней разделяются таким образом, что одни из них собираются на положительном полюсе, а другие на отрицательном. 2) Вещества, направляющиеся к одному и тому же полюсу, имеют между собою нечто общее; к отрицательному полюсу стремятся все горючие тела, щелочи и земли; с другой стороны, к положительному полюсу — кислород, кислоты и окисленные тела». «Я не решаюсь высказать определенного суждения о том, каким образом и благодаря чему происходят упомянутые разложения. Однако наиболее естественным представляется мне объяснить их притяжением электричества в одних веществах и отталкиванием его в других, хотя, правда, и это объяснение не является вполне удовлетворительным». Берцелиус отмечает, что Дэви читал его статью (по крайней мере, в извлечении в «*Annales de chimie et de physique*», LI, 1804) и что он даже вменил себе в заслугу тот факт, что первый обратил на нее внимание других. Тем не менее Копп³, после внимательного рассмотрения данного вопроса, приходит к заключению, что Дэви первый и раньше Берцелиуса⁴ пришел к определенным и твердым воззрениям в области развития электрохимической теории.

¹ On the relation of electrical and chemical changes, Philosophical Transactions, 1826.

² Jahresberichte über die Fortschritte der Physik und Chemie, VIII, стр. 21—24.

³ Hermann Kopp, Die Entwicklung der Chemie in den neueren Zeit, München 1873, стр. 500—509.

⁴ Jons Jacob Berzelius родился 29 августа 1779 г. в Стифте (Линкединг), умер 7 августа 1848 г. в Стокгольме, где был профессором медицины и фармации. С 1808 г. — член Стокгольмской академии наук, а с 1818 г. — постоянный секретарь последней. Мы многократно заимствовали материал для нашего исторического очерка из его „Jahresberichte über die Fortschritte der Physik und Chemie“ в переводе Гмелина, Велера и др. за годы 1821—1848.

При всем признании, какое в свое время получила электрохимическая теория в среде химиков и физиков, она все-таки никогда не была совершенно свободной от камней преткновения; согласно этой теории электрическая полярность всех атомов должна составлять их *первоначальное свойство*, которым уже, *далее, обуславливается их химическое качество*. Однако, чем более удавалось усилить действие вольтова прибора, тем яснее становилось для некоторых физиков, что *химическое действие должно быть первичным, а электрическое лишь его следствием*. Вольтова теория контакта казалась им мало пригодной для того, чтобы объяснить постоянство токов в вольтовом столбе, а вместе с тем и непрерывное нарастание в нем силы. По их мнению, *источником всей силы*, а следовательно, и *причиной всего электричества* могло быть единственно химическое различие металлов и жидкостей, соприкасающихся в столбе. Вольтовой теории контакта, искавшей причину гальванического электричества в простом соприкосновении металлов, начала противопоставляться *химическая теория*, стремившаяся найти источник электричества в одних химических изменениях металлов. Фабброни, Риттер и др. решительно перешли на сторону нового учения. Парро первый привел его в некоторую систему. Однако более сознательное расхождение взглядов произошло позднее. Поэтому мы впоследствии должны будем вернуться к этому спору между теорией контакта и химической теорией, вырождавшемуся не один раз в пустые словопрения и препирательства об авторских правах.

Ревностные исследования действий *вольтовых приборов* должны были, разумеется, привести к многим попыткам *усовершенствования их*. *Форма столба вскоре оказалась практически неудобной*. При кратковременном действии этих приборов приходилось очень часто разбирать пластинки для чистки, что было очень хлопотливо и отнимало много времени; поэтому усилия физиков были обращены почти исключительно на усовершенствования *чашечных приборов*. Крюикшенк¹ заказал род желоба из сухого дерева в 25 дюймов длины, 1,7 дюйма глубины и 1,5 дюйма ширины. В длинных стенках этого ящика были вырезаны фальцы глубиной около 0,1 дюйма и такой ширины, чтобы в них плотно входили две спаянные пластинки из цинка и серебра. Фальцы эти были прорезаны на таком расстоянии друг от друга, что в желобе помещалось 60 пар пластинок. Спаянные пластинки были тщательно вмазаны в фальцы замазкой из смолы и воска, непроницаемой для воды, — обстоятельство весьма существенное для доброкачественности прибора. Клетки, или промежутки между парами пластинок, были наполнены хлористым аммонием. Для того чтобы вычистить металлы после употребления, достаточно было только налить в клетки слабой соляной кислоты и оставить ее там на несколько минут². Эти ящичные приборы получили очень большое распространение. Дэви производил свои знаменитые опыты разложения при их посредстве. Наполеон I подарил Парижскому поли-

¹ William Cruiksschank (1745—1800)—врач и химик.

² „Gilbert's Ann.", VII, стр. 99.

126 ТОЖДЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ГАЛЬВАНИЗМА

техническому институту подобную ящичную батарею, состоявшую из 600 квадратных пластинок, имевших стороны длиною в 0,3 м¹. Вилькинсон² значительно усовершенствовал эти приборы, приблизив их по внешнему устройству к современным нам батареям. Именно: он разделил желоб не парами пластинок, а деревянными перегородками, плотно вмазанными в фальцы; затем соединил попарно медную и цинковую пластинки припаянной проволочной дугой так, чтобы они могли быть опущены в две соседние клетки; к каждой проволочной дуге было приделано сверху кольцо; пропустив через все кольцо палку, можно было сразу вынуть все пластинки из желоба, когда их нужно было чистить или прекратить работу с ними. Этим же принципом руководился и Чильдрен³ при устройстве своих громадных аппаратов. Подобная батарея из 2000 пар пластинок была подарена Лондонскому королевскому институту его друзьями и почитателями; в конце июля 1810 г. Дэви впервые пустил ее в ход⁴.

Усиление гальванических эффектов при употреблении больших аппаратов вскоре заставило умолкнуть всех более или менее громко сомневавшихся в электрической природе гальванических явлений. При помощи этих приборов было доказано, что *все те явления, которые получаются посредством электричества от трения, могут быть воспроизведены и при посредстве гальванического тока*. Отталкивание легких предметов гальваническим электричеством было уже показано самим Вольтой на электрометре; теперь от вольтовых аппаратов стали получать и *искры*, к которым так привыкли при электричестве от трения. Никольсон первый заметил искру в темноте от своего столба из 100 штук крон. Крюикшенк с подобным же столбом получал искры и при дневном свете. Симон⁵ и Риттер уже в 1801 г. наблюдали сильные искры от электрического тока. Дэви, а также Фукуа, Вокелен и Тенар обратили внимание на то, что искры больше всего усиливаются при увеличении размера пластинок. Симон, Пфафф и Марум наблюдали нагревание проволок и их накаливание от действия гальванического тока; Дэви расплавил железную проволоку в 2 дюйма длины и $\frac{1}{170}$ дюйма в поперечнике. Однако все эти световые и тепловые действия тока померкли перед *электрической дугой*, которую Дэви получил еще до 1812 г. на упомянутой выше большой батарее Королевского института⁶. В своих «Elements of chemical philosophy» (London 1812, стр. 152—154) («Элементы философии химии») он пишет по этому поводу: «Эта батарея... дает целый ряд блестящих и поразительных явлений. Когда два куска древесного угля в 1 дюйм длины и $\frac{1}{6}$ дюйма в попереч-

¹ Albrecht, Geschichte der Electricität, стр. 163.

² Charles Henry Wilkinson, врач в Лондоне.

³ John George Children (1778—1852).

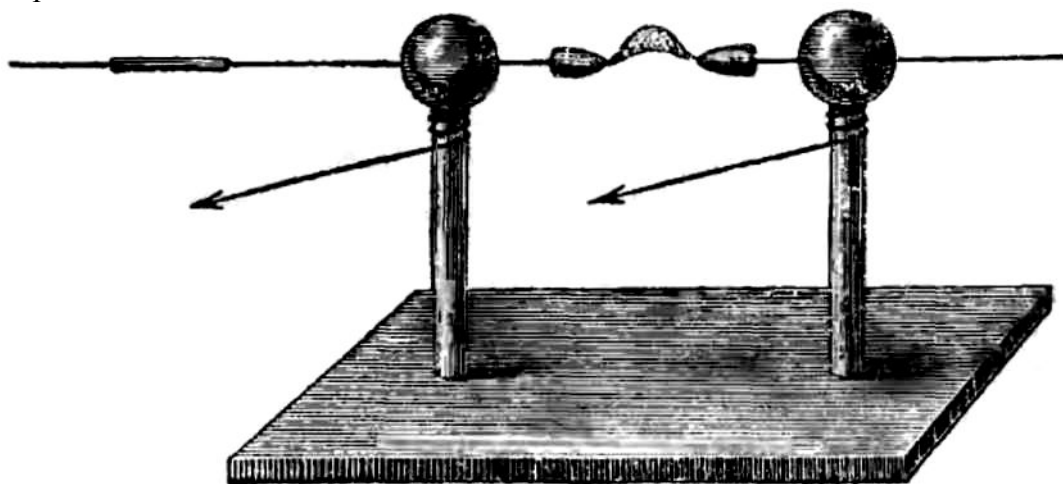
⁴ „Gilbert's Ann.," XXXVII, стр. 71, 1811.

⁵ Paul Louis Simon (1767—1815), советник архитектуры в Берлине.

⁶ Курте (Curtet) заметил уже в 1802 г. („Gilbert's Ann.", XII, стр. 361): „Древесный уголь, лежавший на цинково-серебряном столбе, испускал при соприкосновении с железной проволокой, которой замыкалась цепь, такие яркие искры, что предметы были освещены белым светом на расстоянии до $1\frac{1}{2}$ дюйма". (Электрическая дуга была еще раньше обнаружена проф. Петровым в Петербурге. Прим. ред.)

ВОПРОС О СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И СВЕТА. АКУСТИКА 127

нике были сближены между собою на расстояние $\frac{1}{30}$ или $\frac{1}{40}$ дюйма (будучи включены в цепь), то получилась яркая искра и угли, больше чем до половины, накалились добела. Когда же затем концы углей начали раздвигать, то между ними происходил постоянный разряд через накаленный воздух на расстоянии, по крайней мере, 4 дюймов в виде необыкновенно блестящей широкой световой дуги конической формы, обращенной выпуклостью кверху ¹ (черт. 3). Любое вещество, введенное в дугу, тотчас же накалялось; платина расплавилась в этом пламени так же легко, как воск в пламени обыкновенной свечи; кварц, сапфир, магнезия, известь превратились в жидкость; алмазный порошок, кусочки угля и графита исчезли мгновенно, как бы улетучиваясь в дугу... Когда полюсы батарей были соединены в разреженном воздухе, то расстояние, при котором «получались разряды, могла быть увеличено соразмерно степени разрежения; когда последнее достигало только $\frac{1}{4}$ дюйма ртутного давления, искры перескакивали на



Черт. 3.

расстоянии до $\frac{1}{2}$ дюйма, а при удалении полюсов на 6—7 дюймов разряды происходили в виде необычайно красивой пурпуровой струи света».

Странно, что эти открытия не возбудили того общего интереса, какого можно было бы ожидать. С практической стороны еще не знали, что собственно можно сделать при помощи этих дорого стоящих приборов, а с теоретической — колоссальное развитие тепла и света от гальванического тока при господствовавшей тогда теории теплоты только тревожило умы и создавало известное неудобство. Такое заключение можно сделать на основании следующих слов Био ² по поводу накаливания проволок: *«Исключительно трудно, чтобы не сказать невозможно, объяснить происхождение этого светового явления и нагревания при подобных условиях.* Следует ли их объяснить сжатием веществ, на которые действует электричество? Но в таком случае давление должно было бы обнаружиться однажды

¹ Рисунок, помещенный ниже, представляет собою снимок с оригинального рисунка Дэви.

² Lehrbuch d. Experimentalphysik, Leipzig 1824, II, стр. 320.

128 ОСНОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АКУСТИКИ. ХЛАДНИ

при самом начале опыта, так как ток идет непрерывно; тогда за счет этого давления можно было бы отнести разве только первую вспышку света, но никак не дальнейшее его существование. Не порождается ли свет обоими электрическими началами непосредственно при их столкновении». К этому последнему предположению, столь же осторожному, как и темному и, собственно говоря, непонятному в устах приверженца теплового вещества, примкнуло, тем не менее, большинство тогдашних физиков. Но что особенных лавров от им не сулило, это видно из последовавшего затем длительного молчания по данному вопросу.

АКУСТИКА, ХЛАДНИ (около 1800 г.). До конца XVIII в. появилось уже множество отдельных работ *по акустике*. Исследования *аккорда и диссонанса*, *измерения скорости звука*, *математические* выводы форм колеблющихся струн — принадлежали в различное время к числу излюбленных занятий физиков. Во второй половине этого столетия Даниил Бернулли и Эйлер изучали колебания стержней, Эйлер и Риккати колебания натянутых перепонки. Даниил Бернулли, Эйлер, Ламберт, Риккати занимались подробными исследованиями звучащих труб. Лагранж тоже опубликовал свои знаменитые акустические работы в Туринских мемуарах. Однако исчерпывающей, систематической разработки, какая, например, не раз выпадала на долю механики или оптики, *акустике* все еще не доставало. Подобная всеобъемлющая разработка акустики, как *особой и самостоятельной дисциплины физики*, была впервые произведена Хладни¹, «отцом акустики».

Все, что до тех пор было сделано в акустике, принадлежало либо *музыкантам*, интересовавшимся музыкальными тонами и инструментами также и с теоретической стороны, либо *математикам*, смотревшим на акустические проблемы, как на интересные математические задачи. Акустические явления сами по себе, если они не возбуждали музыкального или математического интереса, не были еще, за весьма немногими исключениями, предметом исследования. Хладни первый предпринял *опытное исследование* всей области звука, и первый создал *экспериментальную акустику*. Братья Вебер отдают ему в этом отношении полную справедливость, предпосылая своему известному «Учению о волнах» (1825 г.) следующее посвящение: «Нашему высокочтимому другу Хладни, основателю опытной акустики, изобретателю нового рода музыкальных инструментов, первому исследователю упавших на землю метеорических масс».

Сам Хладни в предисловии к своему главному труду, вышедшему в свет в 1802 г. в Лейпциге под заглавием «Die Akustik», считает новым и лично ему принадлежащим: *план сочинения, «при котором внимание обращено не исключительно или предпочтительно, как это обычно делалось, на струны, но на все возможные виды звучащих тел в одинаковой степени»; исследование колебаний дисков, колоколов,*

¹ Ernst Florens Friedrich Chladni родился 30 ноября 1756 г. в г. Виттенберге. По желанию отца, профессора юридических наук, он изучал право в Виттенберге и Лейпциге, но после его смерти отдался целиком естественным наукам.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕЙ 129

колец и камертонов; открытие продольных колебаний струн и стержней, а равно применение их к определению скорости звука в твердых телах; открытие вращательных колебаний стержней, открытие законов звучания горящего водородного пламени; определение числа колебаний непосредственным счетом; определение скорости звука в различных газах и, наконец, изобретение эуфона и клавицилиндра. Мы увидим впоследствии, что эти притязания более чем оправдываются фактами.

«Большинство авторов определяет высоту музыкальных звуков (так было во времена Хладни) по соответствующим им длинам струн». Хладни обращает внимание на необходимость заменить длины струн, пригодные лишь как относительные числа, абсолютными числами колебаний звуков. Для определения числа колебаний звука «тонометром», или «счетчиком звука», ему служил стержень, имевший форму параллелепипеда, длиной в 2 локтя, шириной $\frac{1}{2}$ дюйма и толщиной в 1 линию, пропущенный для придания равномерности по всей длине через каток. Этот стержень он закреплял в станке, снабженном винтом, таким образом, что он давал очень медленные колебания, которые, правда, не воспринимались ухом как музыкальный тон, но которые можно было легко видеть и подсчитать. Для определения высоты данного звука при помощи этого прибора нужно было настроить последний на тот же тон, передвинув его надлежащим образом в станке, и вычислить число колебаний по следующей пропорции: *числа колебаний одного и того же стержня обратно пропорциональны квадратам длины колеблющихся частей.*

Несмотря на то, что великие математики половины XVIII века изучали с большим интересом и терпением формы колеблющихся струн, Хладни именно в этой области удалось получить много нового. Упомянутые математики, сосредоточив все свое внимание на возможных формах колеблющихся струн, постоянно принимали, что *отдельные части струны колеблются перпендикулярно к длине струны.* Хладни указал на возможность *таких колебаний, при которых отдельные части струны не выходят из направления струны.* Он сообщил

На 19-м году он научился играть на фортепьяно и читал различные сочинения по теории звука, причем пришел к убеждению, что „область эта обещает всего больше нового, так как физико-математические методы здесь получили гораздо меньшее применение, чем в какой бы то ни было иной отрасли физики". Сочинения Эйлера и Бернулли навели его на исследования звучащих пластинок; открытие Лихтенбергом электрических фигур послужило ступенью к открытию звуковых фигур. Но материальное его положение стало весьма печальным; состояние матери („так будет правильнее называть мою мачеху") постепенно таяло. Так как Хладни с юности любил путешествовать, он попытался устроить музыкальный инструмент, с которым он мог бы в качестве виртуоза предпринимать артистические путешествия. Подобный инструмент „эуфон" и был им закончен 8 марта 1790 г. Игра на этом инструменте, а также на другом, клавицилиндре, и лекции на акустические темы, которые он читал при своих поездках сначала по Германии, а затем по Франции и Италии, давали ему более чем достаточные средства. Хладни умер 3 апреля 1827 г. в Бреславле. Кассе бедных в родном городе он завещал свое довольно значительное состояние, а Королевскому минералогическому кабинету в Берлине ценную коллекцию метеоритов. „Изобретательность, живое остроумие и добродушие были его отличительными чертами". Ср. *Franz Melde, Chladni's Leben und Wirken, Marburg 1866.*

130 ПРОДОЛЬНЫЕ И ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЕЙ

о своем открытии в первой работе «*Neue Entdeckungen über die Theorie des Klangers*» (Leipzig 1787) («Новые открытия в области теории звука») и подробнее в 1792 г. в журнале «*Berliner musikalischen Monatschrift*», а также в ряде последующих монографий. Он установил, что одна и та же струна дает различные тоны в зависимости от того, проводят ли по ней смычком *нормально* к ее направлению или же *под возможно острым углом*; последнее достигается еще лучше, если струну, натертую канифолью, *тереть* суконкой или пальцем *вдоль* ее *длины*. В первом случае отдельные части струны колеблются перпендикулярно к ее направлению, в последнем случае — в том же самом направлении. Первого рода колебания Хладни назвал *поперечными*, а открытые им колебания второго рода *продольными*¹. Когда струна издает свой наиболее низкий продольный тон, основной тон, все части ее колеблются одновременно в одном и том же направлении. Но струна может так же, как при поперечных колебаниях, делиться на части и издавать обертоны. При первом обертоне, где по середине струны находится узел колебания, частицы в обеих половинах движутся в противоположном направлении, т. е. все одновременно по направлению к узлу или же прочь от него и т. д. Продольные тоны всегда значительно, иногда на несколько октав выше поперечных на той же струне; определенного соотношения между обоими родами тонов в общем случае нельзя было установить. *Скорости продольных колебаний обратно пропорциональны длинам струн; толщина и степень натяжения последних странным образом не оказывают влияния на скорость, зато материал влияет самым решительным образом*. На *стержнях* обертоны продольных колебаний получаются еще легче, чем на струнах. Для получения основного тона всего целесообразнее вставить стеклянную палочку одним концом в винтовой станок, а другой конец потереть мокрым сукном, посыпанным мелким песком или пемзой. Для получения первого обертона стоит только прикоснуться пальцами к середине палочки; он будет, разумеется, октавой основного тона. Хладни приводит продольные тоны двухфутового прута для 26 веществ, между которыми находятся китовый ус, олово, разного рода дерево и даже глиняный чубук.

На *стержнях* Хладни открыл еще третий род колебаний, описанный им в 1799 г. во втором томе журнала «*Schriften der Cesellschaft naturforschender Freunde*», издававшегося в Берлине. Эти «*вращательные колебания*» он получал на очень гладких цилиндрических *стержнях* при трении их справа налево во вращательном направлении. И в данном случае *стержень*, смотря по тому, как его держали, делился, как и при продольных колебаниях, на части; законы колебания, в общем, оказались здесь те же, что и для продольных, но только тоны при прочих равных условиях оказались на *квинту ниже*. Это наблюдение, согласно которому числа колебаний обоих видов колебательных движе-

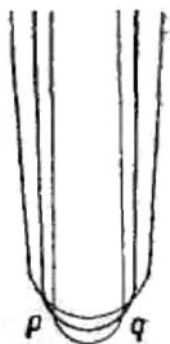
¹ У Хладни не было предшественников в открытии как продольных, так и вращательных колебаний, о которых сейчас будет речь. По его собственному замечанию только *Риккати* (Delle corde, Bologna 1767) заметил, что струна, укрепленная на одном конце и натянутая грузом, подвешенным на другом ее конце, попеременно растягивается и укорачивается.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПЛАСТИН 131

ний должны относиться друг к другу, как 3:2, было подтверждено последующими опытами. Мунке ¹ получил из своих опытов для этого отношения число 1,6 (соответствующее большой сексте). Пуассон ² вывел из теоретических соображений, основанных на законах упругости, величину $\frac{1}{2}\sqrt{10}$ или 1,5811. По Веберу ³ последние числа довольно близко подходят к результатам его собственных опытов.

Исследование колебаний прямых стержней Хладни распространил и на *изогнутые стержни* (черт. 4). Он показал, что на камертоне, когда он издает свой наиболее низкий тон, находятся два колебательных узла на близком расстоянии по обе стороны ножки и что тон его приблизительно на сексту ниже основного тона поперечного колебания свободного стержня. Хладни исследовал также колебания стержней, изогнутых в кольца, а равно и колоколов, причем экспериментально подтвердил некоторые из теоретических выводов Эйлера (Act. Petr. 1779) и Головина (Act. Petr. 1781).

Больше всех перечисленных выше открытий обратили на себя внимание работы Хладни над *колеблющимися пластинками и открытие им звуковых фигур*. Первое сообщение о них *появилось* также в его первом сочинении «Entdeckungen über die Theorie des Klanges» (1787). В своей «Акустике» 1802 г. он изложил этот вопрос более подробно, и, наконец, дополнительные данные он привел в позднейшем своем сочинении «Neue Beiträge zur Akustik» (Leipzig 1817) («Новые исследования по акустике»). Получение звуковых фигур так хорошо известно и так подробно изложено в каждом почти учебнике физики, что я могу здесь на них не останавливаться. Предпочитаю привести взамен этого собрание чертежей из «Акустики» Хладни (черт. 5), которое полнее обычно встречающихся в учебниках; и все-таки здесь представлена только небольшая доля чертежей, вычерченных самим Хладни. В 1787 г. появилось уже 138 изображений квадратных и круглых пластинок; «Акустика» 1802 г. содержит 190 рисунков звуковых фигур, а к 1817 г. к прежним прибавилось еще много новых. Какие ожидания Хладни возлагал на свои звуковые фигуры, об этом можно судить по начальным строкам его сочинения «Entdeckungen über die Theorie des Klanges». «Упругие колебания струн и стержней, где приходится иметь дело с несколькими отдельными кривыми линиями, были уже вычислены различными исследователями с такою точностью и тонкостью, что о них, пожалуй, можно сказать очень мало нового. Напротив, истинный состав звука таких тел, относительно которых нужно принимать в расчет упругие колебания целых плоскостей в нескольких измерениях одновременно, находится еще в полном мраке, так как по этому вопросу не существует ни вычислений, согласных с опытом, ни точных наблюдений. Мне удалось найти сред-

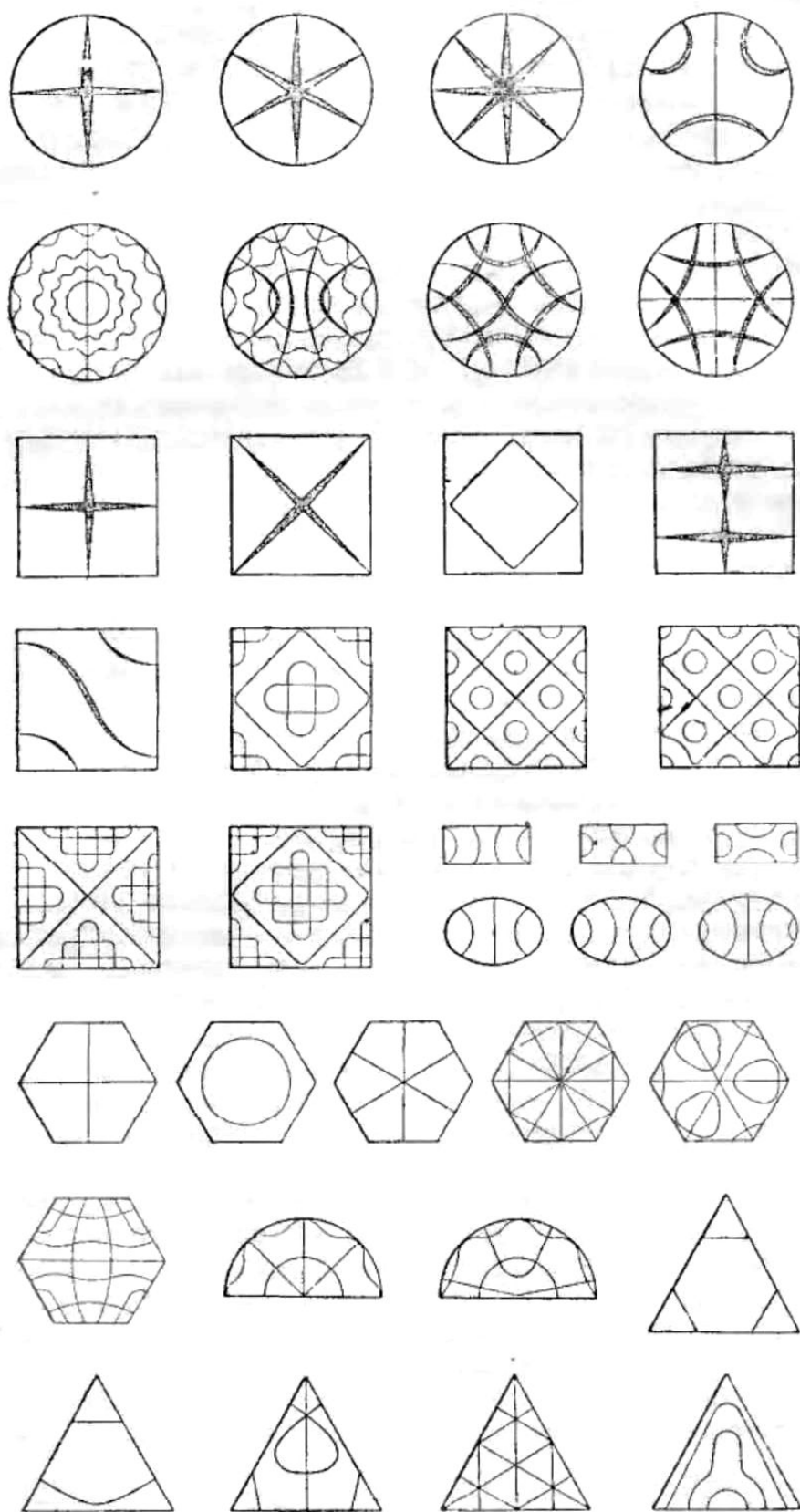


Черт. 4.

¹ Gehler's physik. Wörterbuch. 2. Aufl., VIII, стр. 215.

² „Annales de chimie et de physique“, XXXVI, стр. 88, 1827. Mém. de l'Acad., VIII, 1829.

³ „Poggendorffs Ann.“, XIV, стр. 175.



Черт. 5.

ТРУДНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ЗВУКА 133

ство, при помощи которого всевозможные виды звуков подобных тел, без примеси других, можно не только слышать, но и *видеть*; и потому я надеюсь сообщением об этих моих наблюдениях дать хоть несколько правильных указаний для более точного исследования этого мало разработанного отдела механики. Я уверен вместе с тем, что неполнота моих замечаний извинит всякий, знающий по своему личному опыту, с какими трудностями приходится на каждом шагу встречаться тому, кто ставит себе целью изучение природы по непроторенным путям».

Степень интереса, по крайней мере, со стороны ученой публики, вполне соответствовала ожиданиям. Лекции и опыты Хладни возбуждали всеобщий и живой интерес; ученые и любители с увлечением повторяли его опыты. Когда Хладни в 1809 г. представил свои фигуры членам Французского национального института, все, и в особенности Лаплас, смотрели на них с изумлением. Наполеон пожелал видеть повторение этих опытов в Тюильерийском дворце и отпустил Хладни 6000 франков для перевода его «Акустики» на французский язык.

Тем не менее, нельзя не признать, что эти открытия не принесли ожидаемой пользы для теории звука; с одной стороны, потому, что они оказались непосредственно приложимыми к одному только частному случаю колеблющихся пластинок; а с другой — вследствие того, что теория не знала, что ей собственно делать с этими опытными данными. Еще в 1787 г. Яков II Бернулли (Nov. Act. Petr., V, 1787) пытался теоретически вывести форму некоторых звуковых фигур, для чего он рассматривал прямоугольную пластинку как сетчатую ткань из волокон, пересекающихся под прямым углом. Однако Хладни показал, что полученные таким путем результаты расходятся с опытом. После демонстраций, сделанных Хладни перед Французским институтом в 1809 г., последний назначил премию в 3000 франков за аналитическое решение этой задачи. Пришлось, однако, дважды повторить приглашение на конкурс и только в 1816 г. выдать, наконец, премию Софии Жермен за единственную представленную работу, заключавшую в *себе* несколько верных дифференциальных уравнений и несколько новых исследований¹. Работы Пуассона² над этой проблемой дали весьма немного, и только в 1883 г. Уитстон³ дал теорию, согласно которой могли быть правильно выведены хотя бы простейшие звуковые фигуры.

Хладни принадлежат также первые опыты по определению *скорости распространения звука в газах*. Помимо почти невыполнимого непосредственного измерения для определения этой скорости существовали два пути. Со времени работ Даниила Бернулли в 1762 г.⁴ было из-

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., VIII, стр. 261. Cp. Kirchhoff, Wissenschaftl. Abh., Leipzig 1882, стр. 237.

² Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques, M'ém. de l'Acad., VIII, 1829.

³ Charles Wheatstone, On the figure obtained by strewing sand on vibrating surfaces, Philosophical Transactions, 1833.

⁴ Dan. Bernoulli, sur le son et sur les tons des tuyaux orgues, Mém., Paris 1762. Далее Lambert, Observations sur les flûtes (Berlin, Mem. 1775); L. Euler, De motu aëris in tubis (Nov. Comm. Akad. Petrop., XVI, 1772); Lagrange, Recherches sur la propagation du son (Misc. Soc. Taur., I и II, 1759 и 1762).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ГАЗАХ

вестно, что в открытых органнх трубах узел колебаний лежит по середине, а пучности колебаний на концах трубы и что, следовательно, когда труба издает свой основной тон, то длина волны этого тона вдвое больше длины трубы; при закрытых же трубах длина волны превосходит длину трубы в четыре раза. А так как уже Ньютон доказал, что скорость распространения всех колебаний вообще равна произведению числа колебаний на длину волны, то, очевидно, скорость распространения звука в газе, наполняющем трубу, может быть легко вычислена из длины трубы и числа колебаний ее тона. Хладни применял для этой цели открытую оловянную органную трубу, укрепленную на стеклянном колоколе, погруженном в воду открытым концом. С колоколом сообщался животный пузырь, содержащий исследуемый газ. Для более точного сравнения опыт всегда начинался с атмосферного воздуха и издаваемый в последнем тон тщательно определялся при помощи монохорда. Второй путь быстрее приводит к цели. По Ньютону скорость распространения волн в различных упругих средах обратно пропорциональна квадратным корням из удельных весов соответствующих газов. Так как удельные веса газов и скорость распространения звука в воздухе уже известны, то из этих данных легко вычислить соответствующие скорости распространения звука в газах. Результаты, полученные Хладни обоими путями, указаны в следующей таблице:

	Плотность	Скорость в парижских футах	
		наблюдае- мая	вычислен- ная
Атмосферный воздух	1000	1038	
Кислород	1103	950—960	988
Азот	985	990	1045
Водород	84	2100—2500	3580
Угольная кислота	1500	840	847
Азотная кислота	1195	980	949

Эти результаты дают отклонения, которые не могут быть объяснены одною только неточностью в измерениях. Бенценберг¹ нашел при собственных опытах, а также в измерениях Керби и Меррика², предпринятых по тому же плану, приблизительно те же отклонения от величин, исчисленных по закону Ньютона. Гильберт³ объяснял эти отклонения трудно устранимой засоренностью газов и ссылаясь при

¹ „Gilbert's Ann.", XLII, стр. 12, 1812.

² „Gilbert's Ann.", XXXIX, стр. 438, 1811.

³ Ludwig Wilhelm Gilbert (1769—1824), профессор физики сначала в Галле, затем (1811 г.) в Лейпциге. Особенную заслугу его составляет издание „Annalen der Physik und Chemie" с 1799 по 1824 г., в котором помещено много статей, обработок и переводов, принадлежащих ему лично.

РАСХОЖДЕНИЕ СКОРОСТИ ВЫЧИСЛЕННОЙ И ОПЫТНОЙ 135

этом на то обстоятельство, что угольная кислота, которую всего легче получать в чистом виде, дает наиболее согласные результаты. Различная степень влажности газов могла, по его мнению, тоже быть одной из причин неточности. Однако опыты новейшего времени показали, что *отклонения эти не случайны, а зависят главным образом от влияния стенок звучащих труб*,

И все-таки эти отклонения не были еще настолько удивительны, как неустраняемые никакими усилиями *расхождения между наблюденной скоростью звука на открытом воздухе и величиной ее, вычисленной для этого случая Ньютоном*¹. Чем больше и тщательнее производились измерения скорости звука на воздухе, тем очевиднее становилось, что ньютоново число 797 англ. футов в секунду ни в каком случае не может быть правильным; вместе с тем не удавалось найти ни причины этого расхождения, ни какой бы то ни было ошибки в выводах Ньютона. Еще в недавнее время, в 1778 г., немецкие учены Кестнер (Kästner) и Майер (J. T. Mayer) снова тщательно определили скорость звука в воздухе и получили результат, очень близкий к полученному в 1738 г. Парижской академией, а именно 1034—1037 париж. футов. Хладни приводит следующие объяснения для этого загадочного расхождения²: 1) воздух содержит посторонние примеси, увеличивающие его вес, но не упругость (*Lambert*, Ber. Mém., 1798); 2) скорость воздушных колебаний увеличивается от ударов последующих колебаний (*Euler*, Conjectura phys., Berlin 1750, от этого положения он позднее отказался как от неверного, «De la propagation du son», 1759); 3) более сильные воздушные толчки воздуха распространяются быстрее, чем малые, которые одни только и являются объектом теоретических расчетов; 4) упругость воздуха изменяется не вполне пропорционально его плотности (*Lagrange*, Tur. Misc., II); 5) воздух, как смесь азота и кислорода, производит иные колебания, чем простые газы. Последнее предположение Хладни считает наиболее вероятным и пытается даже объяснить изменение звука духовых инструментов в наполненных людьми залах изменением состава воздуха в этих помещениях. Неудовлетворительность всех этих попыток явствует уже из того, что ни один из исследователей не мог указать основания для теоретического вывода наблюденных чисел; поэтому все они и отпали тотчас же после того, как Лаплас дал правильное объяснение, сохранившее свою силу до наших дней³. По свидетельству Ле-Конта⁴ Лаплас уже в 1800 г. заметил, что повышения и понижения температуры, связанные со сжатием и разрежением воздуха при звуковых волнах, изменяют упругость воздуха в большем отношении, чем его плотность, к что это обстоятельство должно повышать скорость звука. Свою мысль он тогда же сообщил Био, который в 1802 г. в «Journal de

¹ См. вторую часть настоящего сочинения, стр. 233 (русский перевод, стр. 288

² Akustik, стр. 224—226

³ „Annales de chimie et de physique" (2), III, стр. 238, 1816; там же XX, стр. 266: подробно в „Traite de Mécanique céleste", vol. V, 1825.

⁴ On the adequacy of Laplace's explanation to account for the discrepancy between the computed and the observed velocity of sound in air and gases, Phil. Mag. (4), XXVII, стр. 1—32, 1864.

136 СКОРОСТЬ ЗВУКА В ГАЗАХ И ТЕОРИЯ ЛАПЛАСА

Physique» попытался применить ее на деле и произвести перерасчет — впрочем, не совсем правильно с математической стороны, как это в 1808 г. доказал Пуассон ¹. Однако и самому Лапласу пришлось довольно долго поработать над этим вопросом, пока он получил возможность опубликовать точный результат своих исследований, а вместе с тем и решение настоящей задачи: *«Скорость звука равна скорости ее, данной ньютоновской формулой, помноженной на квадратный корень из отношения удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении к удельной теплоемкости его при постоянном объеме»*. К сожалению, как раз величина этого отношения удельных теплоемкостей была в то время настолько неточно определена, что судить о правильности этого закона по верности результата было невозможно. Поэтому вплоть до наших дней не было недостатка в физиках, которые не признавали правильности теории Лапласа и пытались дать лучшее объяснение. Венценберг, произведший в декабре 1809 г. и июне 1811 г. близ Дюссельдорфа много опытов по определению скорости распространения звука и получивший для температуры 0° С широко распространенное число 1027 париж. футов, счел это число слишком высоким для того, чтобы оно могло быть отнесено за счет теплоты, развивающейся при сжатии воздуха ². Мейкле в 1829 г. высказал предположение, что если теплота сжатия действительно ускоряет распространение звука, то сильные звуки должны распространяться скорее слабых ³. Ричи утверждал, что теплота совершенно не может влиять на скорость звука, так как сгущенные части волн распространяются не быстрее разреженных ⁴. Мун допускал, что последнее имеет место, но наш слух способен воспринимать только сгущенные волны ⁵. Поттер укоризненно отметил, что Лаплас мог с одинаковым основанием вывести заключение о замедлении звука, как и об ускорении его, так как при волнообразном движении воздуха образуются и тепло и холод ⁶. По мнению Чаллис, развивающиеся тепло и холод должны уравниваться; сверх того, повышение температуры в действительности наблюдается только в трубах, на открытом же воздухе избыточное тепло должно быстро рассеиваться вследствие излучения ⁷. Против последнего мнения выступил Стокс, указавший, что изменения плотности происходят настолько быстро, что подобное выравнивание тепла и холода не может иметь места ⁸.

Однако постепенно все возражения против теории Лапласа стали умолкать, и Ле-Конт в упомянутом выше исследовании доказал, что

¹ Mém. sur la théorie de son, „Journ. de l'Ecole Polytech.", XIV, 1808.

² Измерения Бенценберга изложены в „Gilbert's Ann.", XXXV, стр. 385—406; XXXIX, стр. 136—141 и XLII, стр. 1—11. Последнее утверждение Бенценберга, XLII, стр. 36.

³ Gehler's physik. Wörterbuch, VIII, стр. 424.

⁴ Phil. Mag. 3), X, 1837.

⁵ Там же (4), XVI, 1858.

⁶ Там же (4). I, 1851.

⁷ Там же (3), XXXII. 1848.

⁸ Там же (4), I, 1851.

СКОРОСТЬ ЗВУКА В ЖИДКОСТЯХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ 137

эта теория близко согласуется с опытом, если только положить в основание новейшие точные величины для входящих в расчеты физических постоянных. Действительно, приняв (по Реньо) удельный вес ртути по отношению к воздуху равным 7990,044388, ускорение силы тяжести (по Бэли) равным 9,80942005 м, отношение удельных теплоемкостей (по Массону) 1,41, он для скорости распространения звука получил 332,43 м — результат, хорошо согласующийся со всеми полученными в новейшее время данными наблюдения.

Распространение звука в жидкостях, которое раньше считали невозможным ввиду недостаточной их упругости, Хладни считал вполне доказанным. Он обращает при этом внимание, что Нолле и Мушенбрек установили независимость распространения звука от заключающегося в воде воздуха, доказав это опытами. Однако измерение этой скорости не было предпринято ни им самим, ни его ближайшими преемниками.

Скорость *распространения звука в твердых телах* впервые попытался определить в восьмидесятых годах XVIII века Вюнш¹. Он соединил 36 планок длиною по 24 фута каждая таким образом, что они составили катеты прямоугольного треугольника, гипотенуза которого оставалась открытой. Когда затем помощник ударял молотком по концу одного из катетов, то Вюнш на конце другого катета тотчас же слышал стук, передававшийся через дерево мгновенно, тогда как по воздуху звук доходил на $\frac{1}{2}$ сек. позже. На основании этих опытов он пришел к выводу, что через твердые тела вообще звук передается мгновенно. Хладни в 1797 г. совершенно иным путем пришел к гораздо лучшему результату². Так как продольные колебания твердых тел должны происходить, во всяком случае, аналогично продольным колебаниям воздуха в открытых органнх трубах, то для первых, подобно вторым, длина волны основного тона должна равняться удвоенной длине звучащего стержня. Таким образом, из наблюдаемой длины стержня получается длина волны, из высоты тона — число колебаний, а произведение этих двух величин должно дать скорость распространения звука в данном стержне. Этим путем Хланди получил для различных веществ следующие относительные числа скорости звука в них по отношению к скорости его в воздухе: олово 7,5; серебро 9; медь 12; железо 16,7; стекло 16,7; дуб 10,7; буквое дерево 12,5; липовое дерево 15; еловое дерево 16 и т. д. Эти числа очень близко подходят к новейшим данным, полученным путем непосредственного наблюдения.

Если до сих пор в лице Хладни мы видели человека, который был исключительно счастлив по части открытий и был непогрешимым экспериментатором, то теперь нам остается указать на некоторые вопросы, при разрешении которых он не мог добиться полного успеха.

¹ Gehler's physik. Wörterbuch. 2. Aufl. VIII, стр. 493, Christian Ernst Wunsch (1744—1828), профессор математики и физики во Франкфурте на-Одере.

² Über Longitudinalschwingungen und... über die Fortleitung des Schalles in festen Körpern, Voigr's Magazin für den neuesten Zustand d. Naturk., 1, 1797; также Akustik, стр. 266.

138 ХИМИЧЕСКАЯ ГАРМОНИКА

По свидетельству Мунке ¹ Брайан Гиггинс впервые в 1777 г. наблюдал звуки водородного пламени в стеклянной трубке, но опубликовал свои исследования только в 1797 г. в журнале Никольсона, после того, как его уже успели опередить на этом пути Делюк в своих «Nouvelles idées de météorologie» (1787), Гермбштедт («Crell's chem. Ann.», 1793) и Тромсдорф («Erfurter Gelehrte Zeitung», 1794). Последний считал, что причину этих звуков невозможно вполне объяснить: они могут происходить вследствие того, что под влиянием пламени образуется вакуум, в который постоянно устремляется наружный воздух; причиной их могут служить также нагревание стекла изнутри горячим воздухом и охлаждение его снаружи окружающей атмосферой, вследствие чего и стенки трубки должны приходить в колебание. Граф Мусин-Пушкин полагал, что звучание в данном случае происходит от постоянных взрывов гремучего газа. Шерер присоединился к этому мнению с тем лишь отличием, что, по мнению Пушкина, от этих взрывов приходит в колебание один воздух, а, по мнению Шерера и стеклянная трубка. Хладни в 1795 г. ² указал, что последнее мало вероятно, так как прикосновение к стеклу и даже обертывание последнего сукном не препятствуют образованию звуков; гораздо естественнее, по его мнению, допустить, что воздух в стеклянной трубке приводится притекающим снизу атмосферным воздухом в такие же продольные колебания, какие имеют место в органнх трубах, и трубка должна при горении водородного пламени издавать тот же тон, как при вдувании в нее воздуха мехами. То обстоятельство, что пламя других газов не издает звуков, происходит вследствие недостаточного притока газа, а также вследствие менее равномерного горения. Авторитет Хладни на долгое время обеспечил этой гипотезе общее признание. Наравне с химической гармоникой, общий интерес возбуждало в этот период времени другое уже известное акустическое явление, а именно: *гармоническое звучание натянутых струн при ветре*, для которого были придуманы более причудливые объяснения, чем для первого.

После того как около половины XVIII века шотландский музыкант Освальд натянул в гармоническом порядке несколько струн в длинном ящике с резонансом и при ветре стал получать при его помощи «разнообразие восхитительных тонов, превосходящее всякое описание», патер Вентан ³ в м. Беркли близ Базеля случайно открыл, что и одна струна способна издавать различные тоны. У него во дворе зачем-то была подвешена длинная железная проволока, и он заметил, что когда последнюю натягивали параллельно полуденной линии, то при каждой перемене погоды она издавала различные звуки;

¹ Gehier's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., V, стр. 99.

² Neue Schriften d. Ges. d. naturf. Freunde in Berlin, I, 1795. Также Akustik, стр. 91.

³ Fischer, Geschichte der Physik, VI, стр. 574. Упомянутая во второй части настоящего сочинения (русский перевод стр. 140) эолова арфа Кирхера была описана в „Gilbert's Ann“, X, стр. 57, при переводе относящегося сюда места из указанного соч. Юнга.

если же ее натягивали по направлению с востока на запад, звуков не было. Медные проволоки не издавали звуков ни при каких условиях. Хладни отверг возможное в данном случае предположение о связи звуков воздушной арфы с магнетизмом проволоки и обратил внимание на то, что направление проволок с севера на юг объясняется, вероятно, местными условиями и преобладающим направлением ветра с запада на восток. Между тем, М. Юнг уже около двух десятилетий до того дал подробное и удовлетворительное объяснение этого музыкального инструмента ¹. Исследуя последний, он снимал с него струны одну за другой и установил, что даже при наличии одной струны последняя издает гармонические звуки. Он доказал, кроме того, на опыте, что ветер составляет единственную причину колебания струн и разнообразия звуков. Дело в том, что удары ветра редко приходятся против самой середины струны арфы, а чаще всего против различных мест, причем струны делятся на несколько колеблющихся частей, и наряду с основным тоном, бывают слышны и обертоны. Это объяснение, к которому присоединялся и Хладни, не могло быть оценено по достоинству в то время, так как сущность обертонов (или побочных тонов, как их тогда называли) не была еще тогда выяснена.

Фридрих Готлиб фон-Буссе в конце XVIII в. был еще склонен отрицать возможность того, чтобы при звучании какого-либо тона одновременно звучали и другие, более высокие. Хладни ², правда, отметил, что на струнах, несмотря на все предосторожности, почти всегда одновременно бывает слышно слабое звучание третьего и пятого гармонических тонов и что в *духовых инструментах, органных трубах и звучащих стержнях* как будто тоже постоянно бывает слышен ближайший обертон. Но наряду с этим он указывает, что, *по крайней мере, на струнах удается получать и чистые тоны*, если только заглушать их в надлежащих местах: Затем он решительно восстает против мнения тех, которые утверждают «будто тон, в сущности, представляет собою аккорд, и что тем самым он и отличается от простого стука». Вместе с тем, по его мнению, *обертоны несущественны и примешиваются к основному тону только случайно*. С этой точки зрения он идет дальше: так как обертоны несущественны и часто бывают даже негармоничны, то Рамо, Жамар, Зульпер, Эркслебен и др. совершенно неправы, объясняя основные законы всякой гармонии существованием обертонов. *Признаком консонирующих и диссонирующих интервалов остается, таким образом, для Хладни* (как и для акустиков-математиков — Эйлера и др.) *только большая или меньшая простота отношения их чисел колебаний*; и Хладни в предисловии к своей «Акустике» (стр. XI) прямо вменяет себе в заслугу, что он уничтожает предрассудок, согласно которому консонансы и диссонансы интервалов обыкновенно ставятся в зависимость от созвучия высших тонов. К сожалению, оттеснив, таким образом, обертоны в область

¹ *Matthew Jourg* [(1750—1800), профессор физики в Дублине, с 1786г. епископ], *An inquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings*, London 1784.

² *Akustik*, стр. 68.

случайностей, Хладни лишил себя возможности дать какое бы то ни было правдоподобное объяснение для различных *оттенков* тона. В своей «Акустике» он прямо заявляет (стр. 218): *«Подобно тому, как до сих пор ничего не известно о природе различных изменений звука, так же остается неизвестным, каким образом в воздухе распространяются разнообразные звуковые оттенки (тембры). Л. Эйлер»* (Mém. Berl., 1765, а также «De motu aëris in tubis») считает вероятным, что эти видоизменения и сочетания тонов обуславливаются ничтожными различиями в степени уплотнения воздушных частиц и скорости, с которой каждая выводится из своего первоначального положения».

Изобретенные Хладни новые *музыкальные инструменты, эуфон и клавицилиндр*, внутреннее устройство которых он держал в секрете до 1821 г.¹, хотя и возбудили на первых порах большой интерес, но не удержались в милости у музыкантов и публики; вероятно, потому, что тоны деревянных, стеклянных и металлических пластинок, входивших в состав этих инструментов, были слишком слабы и однообразны. Они выполнили свое предназначение, поскольку дали на первых порах великому специалисту в области акустики средства к жизни и помогли создать необходимые условия для его плодотворных научных работ, и вместе с ним сошли в могилу.

ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ, ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА, УЧЕНИЕ О ЦВЕТАХ (приблизительно от 1800 до 1815 г.). Для того чтобы освободиться от старых укоренившихся понятий и усвоить новые взгляды, противоречащие привычным, в тех случаях, когда это новое прямо не диктуется непосредственным наблюдением, для этого даже лицу, сделавшему это новое открытие, требуется известное, более или менее продолжительное время. Вот почему это вовсе не так странно, как зачастую потом кажется, что всеобщее признание какой-либо гипотезы заставляет себя долго ждать, даже в тех случаях, когда гипотеза эта составляет настоятельную потребность и подтверждается в достаточной мере наблюдением. *Закон косности* действует и в умственной сфере, и если какая-либо теория освящена *авторитетом и временем*, то низвергнуть ее можно тоже только при посредстве *авторитета и времени*. Для трех с лишком поколений теория истечения света служила твердой опорой, удобной исходной точкой для расчетов; великий Ньютон ее установил; знаменитые оптики пользовались ею с большим успехом; она победоносно выдержала многократные нападения сильных противников. Неужели же следовало теперь, при новом нападении, уступить без боя свой надежный оплот? Не следовало ли надеяться, что и на этот раз, как прежде, удастся отразить нападение? — Как будто все говорило в пользу последнего.

Передовой боец в борьбе против старой теории света, Томас Юнг² соотечественник Ньютона, будучи еще молодым студентом медицины,

¹ Beitrage zur praktischen Akustik und zur Lehre von Instrumentalbau, Leipzig 1828.

² Thomas Joung родился 13 июня 1773 г. в Мильвертоне (Соммерсетшир), учился медицине в Лондоне, Эдинбурге и Гёттингене, но с ранних лет занимался также математикой, физикой, ботаникой и филологией. С 1801 до 1804 г. был профессором в Королевском институте. Оставив эту должность, он соби-

ДОВОДЫ ПРОТИВ ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА 141

написал работу по оптике «Observations on vision» (Philosophical Transactions, 1793) («Наблюдения над процессом зрения»), посвященную впрочем, одному процессу зрения и главным образом аккомодации глаза. Второй трактат «Outlines of experiments and inquiries respecting sound and light» (Philosophical Transactions, 1800 ¹) («Опыты и проблемы по звуку и свету»), опубликованный им по окончании курса медицинских наук, относился преимущественно к акустике, но в одной из 16 глав он коснулся и вопросов оптики. Глава эта, десятая по счету, озаглавлена «Of the analogy between light and sound» («Об аналогии между светом и звуком») ². В ней указывается *на две слабые стороны теории истечения света*. «Все световые лучи, происходят ли они от слабой электрической искры, от удара двух кремней, от ничтожнейшей степени ощутимого глазом накаливания, все они распространяются с *одинаковой скоростью*. Какое же основание может дать теория истечения для того, чтобы все эти разнообразные источники света выбрасывали из себя светящиеся частицы с равной скоростью?». И, далее, каким образом можно на основе этой гипотезы объяснить то обстоятельство, что при переходе лучей (имеющих согласно этому воззрению совершенно одинаковый состав) из одной среды в другую, более прозрачную, часть их постоянно *отражается*, а другая *проникает* в новую среду? Напротив, с точки зрения волновой теории света, оба эти явления легко объясняются плотностью эфира, которая в одной и той же среде повсюду постоянна, а в различных средах различна. Правда, слабой стороной последней теории все-таки остается рассеяние цветов при преломлении света (дисперсия), но можно надеяться, что при дальнейшем развитии механики упругих жидкостей и это затруднение будет устранено. Во всяком случае, превосходные опыты графа Румфорда, нанесшие такой решительный удар современному учению о теплоте, говорят в пользу последней, а не первой теории.

рался посвятить себя исключительно практической медицине, но фактически этого плана не осуществил. С 1811 г. до своей кончины был врачом при больнице Св. Георгия в Лондоне; с 1818 г. был, сверх того, секретарем Бюро долгот, где на него было возложено издание Nautical Almanac (Мореходный календарь). Как врач, он считался слишком ученым; у постели больного был робок и нерешителен. Его научные работы, всегда очень ценные, касались разнообразных областей знания. Они касались механики, оптики, теории теплоты, акустики, теоретической химии, движения крови, кораблестроения, средней продолжительности человеческой жизни, плотности Земли, наивероятнейшего результата из многих наблюдений, причины тяжести, приливов и отливов, лунной атмосферы; даже для расшифровки иероглифов Юнг дал много полезных указаний. Он написал до 60 глав биографического и физического содержания для приложения к „Encyclopaedia Britannica” и много рецензий для „Quarterly Review”. При этом он был основательным знатоком музыки, отличным живописцем, искусным наездником, выигрывавшим пари против профессиональных наездников, и приятнейшим собеседником в обществе”. Его дарования были блистательны, трудолюбие — неумолимо, жизнь безупречна. Издание Мореходного календаря навлекло на него сильнейшие совершенно несправедливые обвинения, против которых он не нашел должной защиты, что сильно расстроило его здоровье. Умер он 10 мая 1829 г. в Лондоне.

¹ Перепечатан в „A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts”, London 1807, II.

² Lectures, II, стр. 541—543.

142 ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА

Следующая одиннадцатая глава «Of the coalescence, of musical sounds» («О созвучии музыкальных тонов») ¹, несмотря на то, что она совершенно не относится к свету, *приобрела еще большее значение для его теории*, чем предыдущая. Капитальным открытием, создавшим новую эпоху в оптике и сделавшим Юнга не поборником, а преобразователем теории оптики, была *интерференция волнообразных движений*. Самое это название принадлежит ему, и все явление в общем виде было им же впервые ясно установлено и подробно разъяснено. На видимых глазом водяных волнах, разумеется, уже и раньше замечали сглаживание холмов и долин всякий раз, когда обращали внимание на это движение, но никто не придавал особенного значения этому явлению, и никто не входил в подробное его рассмотрение. Так, например, с'Гравезанд в своем обширном сочинении «Physices elementa mathematicae» (1748) («Элементы математической физики») посвящает вопросу о столкновении различных систем волн только одно положение: «Движения различных волн не мешают друг другу, если движения эти происходят по различным направлениям». Юнг, напротив, подробно изучил *перекрещивание различных систем волн*, как одну из важнейших основных проблем физики и в результате этих исследований пожал удивительные плоды.

В упомянутой выше главе он, прежде всего, возражает против мнения Смита ², *будто колебания различных тонов могут быть совершенно независимы друг от друга*, и, напротив, старается показать, *каким образом одновременные звуковые волны должны складываться и вычитаться в различных точках пространства*. С помощью *графического сложения* Юнг вместе с тем наглядно изображает колебания, которые в различных случаях могут возникнуть в результате совместного действия нескольких волн в одной точке, и из этого сложения колебаний выводит *комбинационные тоны и биения*. Дальнейшего применения этих опытов к оптике в названной работе Юнга не встречается. Но что именно эти идеи привели Юнга к твердой уверенности в правильности его оптических воззрений, доказывает его письмо, напечатанное в «Журнале Никольсона» (август 1801 г.). В этом письме он доказывает основательность своих возражений против «Гармоний» Смита, отражая неблагоприятные для него замечания д-ра Робайсона в «Encyclopaedia Britannica». Переходя затем к своим исследованиям над *совпадением звуковых волн*, он прибавляет: *«но если бы даже они никому и не принесли пользы, я все-таки не считаю своего труда потерянным. Я лью себя надеждой, что выводы по отношению к теории цветов, на которые они меня навели, бросят новый свет на интереснейшие отделы оптики»* ³.

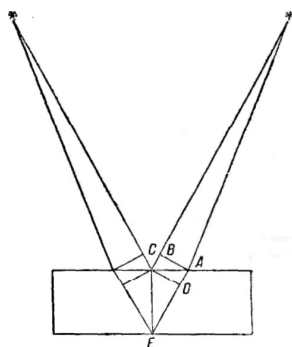
Свои выводы Юнг в том же году, 12 ноября 1801 г., сообщил Королевскому обществу, и зачитанный им доклад «On the Theory of light and colours» («Теория света и цветов») был впервые напечатан

¹ Lectures, II, стр. 544—545.

² Robert Smith (известный оптик), Harmonics or the philosophy of musical sounds, 3-е изд. от 1749 до 1762 г.

³ Lectures, II, стр. 608—609.

в «Philosophical Transactions» в 1802 г.¹ В этой работе он окончательно отказывается от теории истечения света. «Дальнейшее исследование цветов тонких пластинок в том виде, как оно изложено во второй книге ньютоновой оптики, превратило предпочтение, которое я уже раньше питал к волновой теории света, в глубокое убеждение в ее правильности и большой плодотворности — убеждение, значительно укрепившееся во мне с тех пор, благодаря моему анализу цветов тонко исчерченных тел». Действительно, эти цвета могут быть, без искусственных гипотез, объяснены только перекрещиванием различных систем волн. В Положении VIII Юнг описывает этот процесс в выражениях, сходных с прежним: «Когда два ряда воли различного происхождения вполне или хотя бы приблизительно совпадают по своему направлению, то движение, протекающее из их соединения, является сочетанием движений, присущих каждому отдельному колебанию». Переходя затем к частным случаям, он прибавляет, что происшедшие таким образом результирующие движения должны быть всего сильнее, когда волны тождественны по своим фазам, и всего слабее, когда наибольшее прямое движение одной волны совпадает с наибольшим обратным движением другой волны; в последнем случае может даже произойти совершенное уничтожение движения, если оба колебания обладают одинаковой интенсивностью (черт. 6). Представим себе, что два луча, исходящие из одного общего источника света, падают близко друг возле друга на прозрачную пластинку, причем, однако, один из них отражается от передней, а другой от задней поверхности пластинки. После отражения оба луча опять сблизятся и вместе упадут на сетчатую оболочку глаза, но только при этом луч, отразившийся от задней поверхности пластинки, отстанет приблизительно на двойную толщину последней. Поэтому оба луча, вообще говоря, уже не встретятся в прежнем колебательном состоянии, или в прежней фазе, и при действии на сетчатую оболочку они могут так же легко взаимно усилить друг друга, как и взаимно ослабить. Если удвоенная толщина пластинки будет как раз равна целой длине волны или кратному числу волн, то лучи в своем действии просто сложатся; если же эта толщина будет равна половине длины волны, то они взаимно уничтожатся. Наблюдаемые Ньютоном цветные кольца, получающиеся при наложении чечевицы на плоскую пластинку, тоже



Черт. 6.

¹ Переведено в „Gilbert's Ann.“, XXXIX, стр. 156, 1811; напечатано также в „Lectures“, II, стр. 611—632.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВЫХ ВОЛН

объясняются сложением двух лучей, более или менее различающихся по своим фазам соответственно величине промежутка между чечевицей и пластинкой. Так как в местах, где лежат максимумы или минимумы света, толщина промежуточного слоя должна быть четным или нечетным кратным четвертой доли длины волны, *то на основании измеренных Ньютоном толщин промежуточного слоя легко вычислить длину световых волн.* Юнг получил этим путем следующую таблицу:

Ц в е т а	Длина волны в дюймах	Число колебаний в 1 дюйме	Число колебаний в 1 секунду
Крайний конец красного	0,0000266	37640	463 биллионов
Красный	256	39180	482 „
Средний	246	40720	501 „
Оранжевый	240	41610	512 „
Средний	235	42510	523 „
Желтый	227	44000	542 „
Средний	219	45600	561 „
Зеленый	211	47460	584 „
Средний	203	49320	607 „
Голубой	196	51110	629 „
Средний	189	52910	652 „
Синий	185	54070	665 „
Средний	181	55240	680 „
Фиолетовый	174	57490	707 „
Крайний конец фиолетового	167	59750	735 „
Белый	225	44440	545 „ ¹

Таким же точно образом, как цвета тонких пластинок, Юнг *объясняет и цвета тонко исчерченных поверхностей, например, на микрометрах*, а именно соединением двух световых лучей, отражающихся от обеих сторон каждой из прочерченных на стекле микрометрических линий. Дифракционные цвета, появляющиеся на экране при прохождении света через узкую щель, Юнг здесь тоже объясняет соединением света, прямо проходящего через щель, со светом, отраженным от края щели; впрочем, в упомянутой работе он не входит в более подробное рассмотрение этого явления.

В этой своей работе Юнг еще не дает настоящему явлению названия интерференции. Глагол *interfere* (мешать, вмешиваться) в применении к световым лучам он впервые применяет год спустя в исследовании «An account of some cases of the production of colours not hitherts described» («Изложение нескольких до сих пор, не описанных случаев получения цветов»), напечатанном в Philosophical Transactions, 1802 и доложенном в заседании Королевского общества 1 июля 1802 г. Существительное *Interference* появляется еще годом позже

¹ Lectures, II, 627.

ДИФРАКЦИЯ И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА 145

в последнем из капитальных сочинений, относящихся к данной области, «*Experiments and calculations relative to physical optics*» («Опыты и исчисления, относящиеся к физической оптике»), помещенном в Philosophical Transactions, 1804 и доложенном Королевскому обществу 24 ноября 1803 г. В первой работе Юнг разбирает подробнее явления дифракции. На пути световых лучей, проходящих через узкую щель, он натягивает волосы, шелковые нити, шерстяные волокна и подобно тому, как это было и раньше, наблюдает, цветные полосы по бокам тени, но, сверх того, он наблюдает, и цветные полосы внутри самой тени от волоса и т. д. Первые он по-прежнему объясняет *интерференцией прямого света и света, отраженного от краев тела*; вторые — *интерференцией лучей, изгибающихся при прохождении по обе стороны тела, от которого получается тень* ¹. В соответствии с этим в середине тени проходит белая линия, а по обе стороны ее располагаются отдельные цветные полосы соответственно разностям пути световых лучей, проходящих с обеих сторон. Подобным же образом Юнг объясняет цвета так называемых *mixed plates*, т. е. цвета, получающиеся при наливании двух несмешивающихся жидкостей, воды и масла, в промежуток между стеклянной пластинкой и чечевицей; за этим следует чрезвычайно важная поправка к *теории цветов тонких пластинок*. Так как согласно последней теории цвета образуются вследствие интерференции лучей, отраженных от обеих поверхностей пластинок, то при отражении от бесконечно тонкого слоя должен был бы получаться белый цвет, так как в данном случае, в сущности, не имеется разности пути обоих лучей, а, следовательно, нет и разности фаз. Между тем, в действительности в месте соприкосновения стеклянной чечевицы со стеклянной пластинкой получается, наоборот, черное пятно. Это заставило Юнга предположить, что *при отражении от одной из поверхностей колебание замедляется на половину длины волны*, другими словами, что движение колебаний принимает обратное направление, и потому, несмотря на отсутствие разности в длине пути, лучи взаимно гасят друг друга. По аналогии с ударом упругих тел, он пришел к выводу, что *это изменение направления совершается при переходе в более плотную оптическую среду*, стало быть, в тех случаях, когда на задней поверхности этой пластинки существует тонкая пластинка из воздуха, заключенного между стеклянными стенками. К его большому удовлетворению эта теория его подтвердилась и на другого рода опытах. Налив в промежуток между чечевицей из кронгласа и пластинкой из флинтгласа каплю сассафрасового масла, которое по оптической своей плотности лежит посередине между обоими упомянутыми сортами стекла, Юнг получил *белое* центральное пятно, а все дополнительные цвета пластинок в проходящем свете оказались вполне соответствующими его гипотезе.

В своей работе 1804 г. Юнг снова возвращается к дифракции ². Он измеряет при различных условиях ширину цветных полос и нахо-

¹ Lectures, II, стр. 633 и 635. Эта работа помещена в переводе на немецкий язык в „Gilbert's Ann.“ XXXIX, стр. 506.

² Lectures, II, стр. 647—648. Также в „Gilbert's Ann.“, XXXIX, стр. 262.

дат, что выводимые отсюда интервалы приступов ¹ усиления или погашения света очень близко согласуются с теми, которые получаются от цветных колец тонких пластинок, и что уже одно это обстоятельство должно заставить относить оба явления к одной и той же причине, именно к интерференции света. Юнг объясняет, далее, интерференцией света и так называемые *дополнительные радуги*, которые наблюдаются иногда на внутренней стороне главной радуги и на наружной стороне побочной. В заключение он *пытается распространить свой принцип интерференции и на темные световые лучи, химические*, на которые впервые обратили внимание Риттер и Уолластон, и на тепловые лучи, исследованные Гершелем. По отношению к *химическим лучам* эта попытка ему удастся: при соответствующих опытах он рассматривает ньютоновы цветные кольца не непосредственно, а проектируя их на бумагу, пропитанную азотнокислым серебром. Юнг наблюдает при этом три явных темных кольца, размеры которых подтверждают ему аналогию между видимыми и невидимыми лучами. Что же касается темных тепловых лучей, то за отсутствием достаточно чувствительного термометра ему не удается на них открыть схожих явлений ².

Все свои возражения против теории истечения и все свои доводы в пользу волновой теории Юнг еще раз обстоятельно излагает с 39-й лекции своих *«Lectures of natural philosophy»* («Лекции по физике») и вновь указывает на возможность сделанного им открытия интерференции света для установления связи между столь различными с виду явлениями, как дифракционные цвета, цвета тонких пластинок и т. п. По его мнению, только на основе этого принципа возможен дальнейший прогресс оптики; но вместе с тем он признает, что только время и дальнейшие наблюдения могут полностью подтвердить его теорию или же доказать полную ее несостоятельность.

Юнг имел все основания возлагать надежды на будущее, так как прием, оказанный его работам в настоящем, оставлял желать лучшего. Генри Бругем в солидном журнале *«Edinburg Review»* (1803) отозвался очень неодобрительно об исследованиях Юнга. Он не мог в них найти не только ничего заслуживающего названия открытия, а даже просто названия научного опыта. В заключение своего отзыва он счел долгом обратить внимание Королевского общества на то, что в последнее время оно в своих изданиях стало отводить слишком много места поверхностным и бессодержательным статьям. Правда, с другой стороны, Уильям Гайд Уолластон в докладе ³, прочитанном им перед Королевским обществом 24 июня 1802 г., отметил, что данные Гюйгенсом построения двойного преломления в известковом шпате го-

¹ Термин „приступ“ связан с эмиссионной гипотезой света, предложенной Ньютоном см. вторую часть настоящего сочинения, русский перевод, стр. 197 и 198). *Прим. ред.*

² В Двух последних своих работах Юнг касается также *теории ощущения цветов*, которую в новейшее время так блестяще развил Гельмгольц (*„Gilbert's Ann.“*, XXXIX, стр. 164 и 217).

³ On the oblique refraction of Iceland crystal, *Philosophical Transactions*, 1802. В извлечении *„Gilbert's Ann.“*, XXXI, стр. 252—262, 1809.

раздо точнее *ньютоновых* и что вообще гюйгенсова теория колебаний, вновь с успехом разрабатываемая Юнгом, в своих выводах настолько хорошо согласуется с результатами прямых опытов, что, во всяком случае, она заслуживает более внимательного обсуждения и более общего признания. Бругем, разумеется, не мог примириться с этим; ему было неприятно «видеть, что исследователь столь точный и проницательный становится на сторону странной теории колебаний»¹. И с этим суровым приговором 24-летнего критика большинство, по-видимому, согласилось. Английские ученые, заслушав доклад Юнга, без всяких дискуссий, прямо переходили к очередным делам (даже Уолластон попытался впоследствии занять нейтральное положение между обеими теориями); немцы переводили его работы, не применяя их к делу; французы же либо вовсе их не знали, либо ограничивались самым поверхностным знакомством с ними². Юнг впоследствии сам приписывал свой неуспех своеобразному, непохожему на обычный, способу его изложения. И действительно, его изложение скорее кратко, чем удобопонятно, не легко поддается общему охвату по способу расчленения вопроса и отклоняется от общепринятого пути, как в описании опытов, так и в математическом выводе результатов. Тем не менее, все это составляет лишь *побочную причину* недоброжелательного отношения к его трудам. *Главная же причина* заключалась в указанном выше моменте косности, присущем всякой укоренившейся теории, а также *в немалой степени и в самой теории Юнга*. Объяснение цветов интерференцией только *двух световых лучей* не было достаточно правдоподобным и, как оказалось впоследствии, не вполне точно в своих выводах. *Потеря половины волн* при отражении была гипотезой несколько не лучше ньютоновых «приступов»; наконец, теория Юнга была совершенно *неприменима для объяснения явлений поляризации*, которая в это время, благодаря новым открытиям, снова выступила на передний план. При таких условиях *и несомненной плодотворности принципа интерференции*, даже в случае общего признания его, было недостаточно, чтобы обеспечить перевес за волновой теорией. *Юнг сам, ввиду поразительно быстрого накопления новых фактов в области оптики, начал постепенно терять твердую веру в безусловную непогрешимость своей волновой гипотезы и, после тщетных усилий согласовать явления поляризации со своей теорией, казалось, был готов отступить от нее*³. Поэтому теперь оконча-

¹ Henry Brougham (1778—1868) — адвокат и государственный деятель; в 1810 г. — член нижней палаты; в 1830 г. — лорд-канцлер; опубликовал за несколько лет до того сочинение по оптике чисто экспериментального характера в ньютоновском духе.

² Когда Гей-Люссак и Араго в 1816 г. посетили Юнга в Лондоне, они выразили свой восторг по поводу открытия Френелем криволинейного хода дифракционных полос" и сначала не хотели признавать заявленных Юнгом прав на первенство в этом вопросе. Но победа в этом споре осталась за Юнгом благодаря тому, что жена его, не говоря ни слова, принесла экземпляр „Lectures on natural philosophy" и показала гостям соответствующее место книги (Arago's sämtliche Werke, немецкий перевод, Лейпциг 1854, I, стр. 231—232).

³ E. Verset, Wellentheorie des Lichtes, немецкий перевод Р. Экнера, Braunschweig 1881, 1, стр. 24.

148 ТЕОРИЯ ДВОЙНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ

тельная победа теория истечения света казалась более близкой, чем когда-либо раньше, несмотря на постоянно возрастающее число и сложность гипотез, вызываемых открытием каждого нового явления. 4 января 1808 г. Парижская академия объявила на премию следующую задачу: *дать математическую и подтверждаемую опытом теорию двойного преломления, испытываемого светом при прохождении через различные кристаллические вещества*. Малюс¹ принялся с живым интересом за решение этой задачи и в короткое время пришел к открытиям первостепенной важности. Однажды вечером, рассматривая случайно сквозь кристалл известкового шпата отражение заходящего Солнца от окон Люксембургского дворца, находившегося против его квартиры, он заметил, что кристалл вместо обычных двух изображений дает только одно изображение Солнца. Так как вскоре наступила ночь, то он продолжил этот опыт над пламенем свечи, которое он отражал от поверхности воды и зеркала². И здесь при известных условиях шпат давал только одно изображение пламени; если же получалось два изображения, то они не были, как при прямом свете, одинаковой яркости, а при вращении кристалла яркость изображений изменялась таким образом, что максимум яркости одного из них всегда совпадал с минимумом яркости другого. Это наблюдение побудило его предпринять тщательное исследование света, отраженного от гладкой поверхности различных прозрачных тел, при помощи двойного шпата. При этом он не только нашел, что все прозрачные тела вообще сообщают свету это замечательное свойство, но что, кроме того, способность эта бывает выражена сильнее или слабее, в зависимости от большего или меньшего угла отражения, и что, наконец, при известном угле отражения — различном для каждого вещества³ — минимальная яркость изображения может быть ослаблена до полной темноты. Полученные при этом явления оказались совершенно сходными с теми явлениями, которые наблюдаются при рассматривании светящейся точки сквозь два наложенных друг на друга кристалла известкового шпата, когда один из кристаллов при этом вращают; но только в последнем случае получают четыре изображения вместо двух, наблюдаемых при отражении. В свое время

¹ Etienne Louis Malus родился 23 июля 1775 г. в Париже; получил образование в Политехнической школе, в 1796 г. стал капитаном инженерного корпуса. Принимал участие в египетской кампании, где заболел чумой. В 1801 г. вернулся во Францию. С 1806 до 1808 г. был помощником директора при сооружении Страсбургских укреплений. В 1809 г. вернулся в Париж, где занимал должность экзаменатора при Политехнической школе. Умер от чахотки 23 февраля 1812 г. в Париже. Научные работы Малюса относятся исключительно к оптике. Тем не менее, „имя его будет известно отдаленнейшим потомкам, благодаря одному из тех прекрасных открытий, которые, независимо от их собственного значения, открывают широкое поле для дальнейшего научного исследования“.

² Arago's sämtliche Werke, 1855, III, стр. 114.

³ Малюс не был в состоянии вывести для величины этого угла (*угла поляризации*) особого закона и не мог, прежде всего, установить связи его с показателем преломления различных веществ, хотя существование такой связи казалось несомненным. Брюстер (Philosophical Transactions 1815) на основании измерений, произведенных на 18 веществах, первый вывел закон, что *показатель преломления равен тангенсу угла поляризации*.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ДВОЙНОМ ПРЕЛОМЛЕНИИ 149

Ньютон при рассмотрении этого явления высказал предположение, что, по-видимому, луч обладает различными свойствами с различных своих сторон. Малюс остановился на этой идее, представляющей собою простое выражение фактической стороны явления, и, наконец, находясь под влиянием электрических и электрохимических открытий, волновавших в то время весь ученый мир, стал рассматривать эти стороны светового луча как полюсы, а лучи, у которых проявляется подобное различие сторон, назвал *поляризованными*, и все явление в целом *поляризацией света*. Эти названия, несмотря на сомнительную их правильность, стали вскоре общепринятыми.

Малюс впервые определил полярность светового луча посредством *кристалла известкового шпата*; но вскоре он нашел, что полярность может быть установлена и при помощи зеркал. Для этой цели он направил лучи, полностью поляризованные одним зеркалом, на вторую зеркальную поверхность, расположенную по отношению к падающему лучу под таким же углом, как первое зеркало, и стал поворачивать второе зеркало вокруг этого луча, как вокруг оси, сохраняя, однако, прежний его наклон. При этом оказалось, что когда обе зеркальные поверхности были расположены параллельно друг другу, то получалось полное отражение светового луча, когда же плоскости зеркал были взаимно перпендикулярны, то отраженный луч полностью проходил во второе зеркало. Малюс воспользовался этим именно явлением для *определения поляризации*. *«Я называю этим именем (поляризованным) световой луч, который при одинаковом угле падения на прозрачное тело обладает свойством или быть отраженным, или же уклониться от отражения, обратившись к телу другой своей стороной; эти стороны или полюсы светового луча расположены всегда под прямым углом друг к другу»*¹. Отраженный от прозрачной поверхности полностью поляризованный световой луч называется поляризованным «по отношению (rapport) к плоскости падения». После этого Малюс продолжал доказывать с возрастающей убедительностью, что это видоизменение световых лучей, которое вызывается отражением и двойным преломлением, совершенно тождественно и, следовательно, составляет общее свойство светового луча. Оба луча, выходящие из кристалла известкового шпата, ведут себя по отношению к отражающей стеклянной пластинке при падении на нее под углом поляризации совершенно так же, как и лучи, поляризованные отражением. Когда главное сечение кристалла совпадало с плоскостью зеркала, то обыкновенный луч отражался полностью, а необыкновенным совсем не отражался; когда же зеркало, при сохранении прежнего наклона его к падающему лучу, поворачивали на 90°, то отношение менялось на обратное. Следовательно, *обыкновенный луч был поляризован в направлении оси главного сечения, а необыкновенный — в плоскости, к ней перпендикулярной*, или, как выражается Малюс, *они были поляризованы в противоположном смысле (en sens contraire)*.

Первое сообщение о *поляризации света* путем *отражения* Малюс представил Французской академии 12 декабря 1808 г. в мемуаре

¹ „Gilbert's Ann.", XL, стр. 119—120.

150 ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ПРОСТОМ ПРЕЛОМЛЕНИИ

«Sur une propriété de la lumière réfléchie par les corps diaphanes»¹ («Об одном свойстве света, отраженного от прозрачных тел»). В следующем затем более полном сочинении «Théorie de la double refraction de la lumière dans les substances cristallines»² («Теория двойного преломления света в кристаллических телах»), премированном академией в 1810 г., он изложил закон, носящий его имя: *если плоскость поляризации луча, попадающего на известковый шпат, образует с главным сечением угол α° , то интенсивность света обыкновенного преломленного луча равна произведению интенсивности падающего света на квадрат косинуса α , а интенсивность необыкновенного луча равна произведению интенсивности падающего света на квадрат синуса α* . В том же сочинении приведены наблюдения и измерения двойного преломления на многих других веществах, помимо известных уже известкового шпата и горного хрусталя, а именно: на *арAGONите, барите, стронциане, цирконе* и т. д. В заключение Малюс доказывает, что при всяком двойном преломлении получается одна и та же поляризация света, так что поляризационные опыты дают совершенно тот же результат, как с известковым шпатом, и со всяким другим двояко преломляющим веществом; больше того, свет, поляризованный посредством одного кристалла, может быть анализирован при помощи кристалла другого вещества.

Поляризация света при простом преломлении была открыта Малюсом несколько позже и притом одновременно с Био. Доклады обоих ученых были прочитаны перед институтом Франции в один и тот же день 11 марта 1811 г.³ Однако Малюс раньше, чем Био, открыл следующие законы: *преломленный свет всегда поляризован противоположно отраженному*; оба противоположно поляризованных луча по своей интенсивности всегда равны между собой и, наконец, через простые стеклянные пластинки большая часть света проходит неполяризованной. В вышедшей вскоре затем работе «Sur les phénomènes qui accompagnent la réflexion et la réfraction de la lumière» («О явлениях, сопровождающих отражение и преломление света») ⁴ Малюс указывает способы, каким образом можно определить отношение проходящего неполяризованного света к поляризованному, и затем переходит к отражению от металлов. Единственное различие между обыкновенным и металлическим отражением заключается, по его мнению, в том, «что прозрачные тела пропускают сквозь себя и преломляют весь свет, поляризуемый ими в одном направлении, а свет, поляризуемый

¹ Bull. Soc. philomat., I, № 16, 1809. Подробнее в Mémoires d'Arcueil, II, 1809. Переведено на немецкий язык в „Gilbert's Ann.“, XXXI, стр. 286.

² Mém. sav. étrang., II, 1811. Юнг писал Малюсу 22 марта 1811 г., что Королевское общество назначило ему за эту работу румфордскую медаль. В этом письме заключается, сверх того, и признание, и оговорка личного свойства: „Ваши опыты, правда, указывают на недостаточность теории, установленной мной (теория интерференции), но они еще не доказывают ее несостоятельности“ (Arago's sammtl. Werke III, стр. 117).

³ Biot, Lehrbuch d. Experimentalphysik, IV, стр. 116. Работа Малюса переведена на немецкий язык в „Gilbert's Ann.“, XXXVII, стр. 228.

⁴ Bull. Soc. philomat., II, № 47, 1811. Переведено на немецкий язык в „Gilbert's Ann“, XL, стр. 119.

в другом направлении, они отражают, между тем, как металлы отражают весь свет, поляризуемый ими и в том и в другом направлении».

Наконец в последнем сочинении Малюса *«Sur l'axe de réfraction des cristaux et de substances organisées»*¹ («Об оси преломления кристаллов и организованных веществ») приведен метод, пользуясь которым, можно при помощи поляризации света определить *направление оси в кристаллических веществах*. Малюс помещает исследуемое вещество между поляризующим и анализирующим аппаратом (по большей части между необложенными стеклянными пластинками) и наблюдает, изменяет ли вообще данное вещество проходящий через него свет и при каких положениях его получаются максимумы и минимумы изменений. Этими положениями и определяется положение главного сечения, а из двух подобных положений определяется и направление оси. В результате подобного исследования всех прозрачных минералов и всех кристаллизующихся химических препаратов, Малюс установил, что все эти тела обладают способностью двойного преломления «за исключением только веществ, которые кристаллизуются кубами или правильными октаэдрами». Это наблюдение, отмечает он, весьма полезно при определении форм кристаллов. Так, например, лед по своей кристаллической форме не может быть правильным октаэдром, как это раньше предполагали, так как он обладает кристаллизационной осью. Но при этом замечательно, что и *все организованные, растительные и животные тела обнаружили свойства кристаллов с двойным преломлением света*.

Малюс убежден, и притом с полным основанием, что он указал все методы, могущие служить для правильного описания и измерения поляризационных явлений. Что же касается *теории* этих явлений, то, по крайней мере, в *последних* своих работах, он обходит их совершенным молчанием. Он приводит лишь одни результаты наблюдений, и законы, указываемые им, всегда выведены чисто индуктивным путем; даже в самом описании своих наблюдений он избегает какого бы то ни было выражения, которое имело бы сколько-нибудь гипотетическую окраску. В работах, предшествовавших его исследованию о двойном преломлении, он является твердым сторонником теории истечения и затем в течение еще некоторого времени оставался на этой точке зрения. Возможно, что позже он убедился в неудовлетворительности господствующей теории, но не считал ни возможным, ни полезным искать новых теоретических основ. На это, по крайней мере, указывает одно место из его предпоследнего сочинения: *«Наконец, эти новые явления приближают нас еще на один шаг ближе к истине, доказывая недостаточность всех гипотез, придуманных физиками для объяснения отражения света*. Так, например, ни одна из этих гипотез не в состоянии объяснить, почему самый интенсивный световой луч, будучи поляризован, способен при известном наклоне полностью пройти сквозь тело и совершенно избежать частичного отражения, претерпеваемого обыкновенным светом»².

¹ „Journ. de Phys.“, LXXIII, 1811. Переведено на немецкий «зык в „Gilbert's Ann.“, XL, стр. 132.

² „Gilbert's Ann.“, XL, стр. 131.

И действительно, явления двойного преломления и поляризации света были весьма трудными загадками для любой из теорий света. Гюйгенс объяснял двойное преломление образованием двух волн — круговой и эллипсоидальной. Юнг¹ выводил его из *неравномерной упругости эфира в кристаллах по различным направлениям*. Но каким именно образом световые лучи приобретают различные свойства и притом сохраняемые ими и по выходе из кристалла, каким образом происходит различие между неполяризованными и поляризованными лучами и, далее, чем последние в свою очередь отличаются друг от друга — все это были вопросы, относительно которых сторонникам волновой теории пока приходилось молчать.

Положение защитников теории истечения представляло в этой области значительные преимущества. Согласно их учению, преломление света происходит вследствие притяжения частицами преломляющих тел световых молекул при приближении их на известное расстояние. Лаплас² в этом смысле выводил двойное преломление из двоякого рода притяжения: из притяжения *постоянного*, которое действует на молекулы обыкновенного луча, и из притяжения *переменного*, которое действует на молекулы необыкновенного луча соответственно углу, образуемому этим лучом с оптической осью. Различие притяжений со своей стороны обуславливает различие скоростей обоих лучей, а из этих различных скоростей выводится, наконец, различная их преломляемость. Если v — скорость обыкновенного луча, v' — скорость необыкновенного, U — угол, образуемый последним с осью, и, наконец, k — коэффициент, получающий различное значение для каждого прозрачного вещества, то, по Лапласу:

$$v'^2 = v^2 + k \sin^2 U;$$

Био впоследствии улучшил эту формулу, придав ей для оптически двуосных кристаллов следующий вид:

$$v'^2 = v^2 + k \sin^2 U \sin U'.$$

Вместе с тем он показал, что k может быть как *положительным*, так и *отрицательным*, и в соответствии с этим различал кристаллы *притягивающие* и *отталкивающие*³. Если все эти предположения и носили отпечаток известной произвольности, будучи лишены основной взаимной связи, то все же они представляли ту выгоду, что позволяли объяснять подобным же образом и полярность световых лучей. Если световой луч состоит из отдельных молекул, то ничего не мешает приписывать этим молекулам различные *полюсы сил* и единую *ось сил*. Так как, далее, отражение и преломление света обуславливаются только притягательными и отталкивательными силами, действующими со стороны оптических сред на световые молекулы, то легко было представить себе дальнейший ход явлений. Именно: как при отражении, так и при преломлении оси световых частиц, расположенных

¹ „Quarterly Review“, ноябрьский номер, 1809.

² Mém. de l'Inst., X. 1809.

³ Mém. de l'Acad. d. Sc. III, 1820. Lehrbuch der Experimentalphysik, Leipzig 1825, III, стр. 348—349.

РАБОТЫ ЛАПЛАСА И АРАГО 153

в неполяризованном свете во всевозможных направлениях, приводятся этими силами притяжения и отталкивания во взаимно *параллельное* положение, которое они затем и сохраняют; и, далее, поляризованный луч, в зависимости от положения этих осей относительно поверхности прозрачного тела, может быть либо вполне отражен, либо полностью пропущен; в луче же неполяризованном и то, и другое всегда имеет место одновременно. *Какое положение имеет эта ось в световой молекуле, остается невыясненным или даже произвольным.* Био, который с 1811 г. с большим успехом прилагал теорию истечения света к явлениям поляризации, принимал, что *эта поляризационная ось при отражении совпадает с плоскостью падения луча.*

Эта мысль о полярности световых частиц оказалась и в дальнейшем, после открытия новых и весьма сложных оптических явлений, весьма удачною. Араго¹ прочел 11 августа 1811 г. во Французском институте доклад, озаглавленный «*Sur une modification remarquable qu'éprouvent les rayons lumineux dans leurs passage a travers certains corps diaphanes*» («О замечательном видоизменении, которое претерпевают световые лучи при их прохождении через некоторые прозрачные тела»), в котором он показал, что *и при поляризации света в неокрашенном свете могут возникнуть цвета.* Если поляризовать луч белого света, отразив его под углом в 35° (углом поляризации) от необоженной стеклянной пластинки, то он отражается совершенно без изменения от другой параллельной стеклянной пластики. Если поляризованный луч сначала пропустить перпендикулярно через тонкую, вполне прозрачную пластинку слюды, то от второй стеклянной пластинки этот луч отразится уже окрашенным. Характер окраски зависит от толщины слюдяной пластинки, но во всех случаях, при повороте анализирующей стеклянной пластинки на 90°. взамен затемнения, получающегося обычно без слюды, здесь получается окрашивание лучей в цвет, дополнительный к первому. Если в качестве анализатора вместо стеклянной пластинки взять кристалл известкового шпата, то явление остается тем же. Гипсовые пластинки дают те же

¹ Dominique Francois Jean Arago родился 26 февраля 1786 г. в Эстажеле близ Перпиньяна. Поступил в 1803 г. в Политехническую школу. В начале 1806 г. отправился вместе с Био в Испанию для продолжения начатых Мешеном градусных измерений. Здесь после открытия военных действий между Францией и Испанией он был объявлен военнопленным. Вскоре, однако, Араго бежал, укрывшись на корабле, отплывавшем в Алжир; но по пути оттуда в Марсель был вновь взят в плен испанским крейсером. Отправившись после своего освобождения на родину морем, он опять был отброшен в Алжир и только в июле 1809 г. вернулся во Францию. Через несколько дней по возвращении Араго был избран членом Академии. В том же 1809 г. он наследовал кафедру Монжа в Политехнической школе. Будучи членом парламента (с 1831 г.), он принадлежал к крайней левой; в 1848 г. был членом временного правительства и занимал должности военного и морского министра. Умер он 2 октября 1853 г. в Париже. „Стремясь ревностно к открытиям, он был осторожен в своих выводах ... и больше всего любил прокладывать новые пути, по которым можно было прийти к установлению тождества причин разнородных явлений ... Расширяя для ученых пределы знания, он обладал удивительным даром распространять вокруг себя приобретенные им знания. Таким образом, ему были доступны все виды влияния, и авторитет его имени не уступал его популярности" (A. von Humboldt).

154 ТЕОРИЯ ПОДВИЖНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

цвета, как и слюдяные, но только более яркие; толстые пластинки горного хрусталя производят то же самое действие. Так как при скрещенном положении зеркал поляризационного аппарата, при отсутствии кристаллических пластинок вовсе не происходит отражения света, то вследствие внесения пластинок на пути света поляризационные оси световых частиц должны повернуться и выйти из своей плоскости поляризации; свет должен, по выражению Араго, *деполяризоваться*. Эта деполяризация должна, далее, зависеть от толщины пластинки и именно таким образом, что при очень большой и очень малой толщине деполяризации вовсе не бывает, а в известных пределах всякой данной толщине пластинки соответствует деполяризация лучей только определенного цвета. Дальнейшего объяснения указанных явлений Араго не дал.

Несколько лет спустя Юнг высказал убеждение, что и эти цвета происходят в результате интерференции, и именно от интерференции между обыкновенными и необыкновенными лучами, образующимися в тонких пластинках вследствие двойного преломления. Однако он не мог объяснить, *почему для возникновения этих явлений, безусловно, необходима поляризация света*¹. Био, который подробно занимался этими вопросами и в своих исследованиях 1812—1814 гг., и в своих учебниках физики, наоборот, приходит к весьма правдоподобному объяснению этих явлений с точки зрения *теории истечения*; к сожалению, ему здесь пришлось ввести еще одну новую гипотезу, которой он дал название *подвижной поляризации*. В своем «Учебнике экспериментальной физики» (IV, стр. 160, 161) он излагает теорию этой подвижной поляризации в трех положениях:

1. «Когда луч математически однородного света, поляризованный в определенном направлении, проходит перпендикулярно через тонкую пластинку рыбьего клея, то образующие его частицы проникают сперва до известной глубины, не изменяя своей первоначальной поляризации; затем при дальнейшем прохождении они начинают периодически колебаться вокруг оси своего поступательного движения, так что их ось поляризации переходит попеременно и в одинаковой мере то на ту, то на другую сторону оси кристалла или линии, к ней перпендикулярной, наподобие маятника, выведенного из вертикального положения и качающегося по обе стороны отвеса. Каждое из этих качаний происходит в толще $2e$, постоянной для каждого вида света данной преломляемости; но первая толщина, где колебания начинают образовываться, вообще неодинакова для различных частиц, из которых состоит свет.
2. Для лучей другой преломляемости периодический интервал $2e$ изменяется в отношении, которое можно считать пропорциональным длинам приступов световых частиц.
3. Это колебательное движение прекращается, когда световые частицы, дойдя до второй поверхности пластинки, переходят в воздух или в другую среду, не участвующую в двойном преломлении.

¹ Mém. de l'Inst, XII, 1811. Переведено на немецкий язык в „Gilbert's Ann.“, XL, стр. 145—161.

ОТКРЫТИЕ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ 155

Согласно этим положениям, после прохождения поляризованного света сквозь тонкую пластинку, плоскости поляризации различных цветных лучей уже не совпадают ни между собой, ни с первоначальной плоскостью поляризации. Плоскости поляризации различных содержащихся в белом свете цветных лучей оказываются несколько повернутыми относительно первоначальной плоскости поляризации и притом каждая из них на различную величину, вследствие чего при поворачивании анализатора или поляризатора, или же тонкой пластинки постоянно отражаются или проходят насквозь различные цвета.

Произведенное Араго открытие *хроматической поляризации* было дальше разработано Брюстером¹, который, по его собственным словам, независимо от Араго и раньше, чем ознакомился с его работой, пришел к тем же результатам. Брюстер описал в особом сочинении «*Treatise on New Philosophical Instrument*» (Edinburg 1813) («О новых физических инструментах») круговые цветные кольца, пересеченные черным крестом, при прохождении *сходящихся лучей поляризованного света* через оптически одноосные кристаллы, вырезанные перпендикулярно к оси, как берилл, изумруд, рубин и др. Об открытии фигур, наблюдаемых при тех же условиях на двuosных кристаллах, он сообщил в Philosophical Transactions в следующем году. Здесь он обращает внимание и на то обстоятельство, что по этим фигурам можно легко различить *одно- и двuosные кристаллы* и что к числу первых принадлежат только ромбоэдр, правильный гексаэдр, квадратный октаэдр и квадратная призма. Однако это открытие было сделано не одним Брюстером, приведенные выше фигуры были им определены неточно и объяснение их им не было найдено. Уолластон в 1814 г., Био и Зеебек в 1815 г., по крайней мере, частично, но, во всяком случае, самостоятельно, пришли к тем же результатам. Впервые Джон Гершель в 1820 г. доказал, что изохроматические кривые в двuosных кристаллах имеют форму лемнискат. Био первый попытался вывести эти явления чисто теоретически, причем с большой ловкостью и не без успеха подвел их под свою гипотезу подвижной поляризации².

Тем не менее, усилия Био становились все более безнадежными. Вследствие обилия работ над этими «великолепнейшими из всех явлений в области физики», теории истечений приходилось удовлетворять стольким запросам, что даже *в искусных руках такого физика, как*

¹ David Brewster родился 11 декабря 1781 г. в Недбурге в Шотландии; с 1801 г. занимался изучением физики, главным образом оптики. Позднее стал профессором физики, а под конец — ректором Эдинбургского университета. В 1819—1824 гг. вместе с Джемсоном (Jameson) издавал „Edinburgh Philosophical Journal“, а затем с 1824 по 1832 г. один издавал „Edinb. Journ. of Science“. С 1832 г. принимал участие в издании „London and Edinburgh Philos. Magazine“. Организовав съезд ученых в Йорке, он способствовал учреждению British Association for the Advancement of Science (Британская ассоциация для развития научного знания), которая подобно Германскому обществу естествоиспытателей собирается ежегодно в различных городах Великобритании. Умер он 10 февраля 1868 г. в своем имении близ Мельроза. Брюстер кроме научных сочинений написал несколько ценных биографий астрономов и физиков и несколько популярных книг по физике.

² См. Lehrbuch d. Experimentalphysik, Leipzig 1825, IV, стр. 191—203.

156 ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Био, она уже оказывалась недостаточно гибкой и податливой. Уже Малюс открыл, что световой луч, проходя через слои прозрачных пластинок, разделенных тонкими слоями воздуха, поляризуется перпендикулярно к плоскости преломления. Брюстер наблюдал то же явление на некоторых каменных породах, имеющих слоистое строение, например на агате и др. Но Био в 1816 г. открыл подобную же особенность на *турмалине*, по виду совершенно однородном. Именно, он нашел, что хотя тонкие пластинки этого кристалла еще способны двояко преломлять свет, но *более толстые пропускают только необыкновенный луч, обыкновенный же поглощают*. Ввиду этого уже он предлагал для более удобного наблюдения поляризации в кристаллах брать две турмалиновые пластинки, хотя ему и не удалось разъяснить этой странной особенности турмалина ¹.

В упомянутой выше работе о цветной поляризации (1811) Араго указал, что *пластинка горного хрусталя в 6 миллиметров толщины*, поставленная между поляризаторов и анализатором, дает те же цвета, как и тонкая слюдяная пластинка, — с той лишь разницей, что вращение слюдяной пластинки изменяет цвета совершенно так же, как вращение анализатора, между тем как вращение пластинки хрусталя остается без всякого влияния ². Био нашел, что эти цвета толстых пластинок, подобно цветам тонких пластинок, происходят от вращения плоскости поляризации, которое, однако, в данном случае не имеет периодического характера, как у последних, но является постоянным и пропорционально толщине пластинок. Био установил, сверх того, что *некоторые породы горного хрусталя всегда отклоняют плоскость поляризации влево, а другие — вправо*, и что многие жидкости обладают подобной же способностью, хотя и в меньшей степени, чем кристаллы. Однако ему *не удалось дать дальнейшего объяснения этих замечательных свойств упомянутых веществ* ³. То же следует сказать и о *металлическом отражении*. На отличие его от стеклянного обратил внимание уже Малюс; Араго и в особенности Брюстер изучили его более подробно. Био, которому последний сообщал в письмах свои наблюдения, пытался объяснять их особенности соединением постоянной и подвижной поляризации; но и в данном случае он не мог прийти к положительному результату ⁴.

В заключение всего сказанного нам остается еще упомянуть о *другой атаке*, направленной *против ньютоновской оптики*, а именно о *теории цветов Гете* ⁵, и притом не только потому, что это нападе-

¹ См. Lehrbuch d. Experimentalphysik, Leipzig 1825, IV, стр. 119.

² „Gilbert's Ann.“, XL, стр. 151—155.

³ Lehrbuch d. Experimentalphysik. IV, стр. 203—209.

⁴ Там же, IV, стр. 218—222. Ж. В. Био родился 21 апреля 1774 г. в Париже; был артиллерийским офицером и вскоре по выходе в отставку — профессором физики в Бовэ, а в 1800 г. в Париже, в Collège de France. В 1803 г. был избран членом Академии, а в 1809 г. — профессором астрономии при Сорбонне. Био умер 2 февраля 1862 г. в Париже. Его многочисленные сочинения относятся к большинству отделов физики и астрономии.

⁵ Beiträge zur Farbenlehre, Weimar 1791—1792. Zur Farbenlehre, 2 Bde., Tübingen 1810. Goethe's sämmtl. Werke, bei I. G. Cotta, 1858. Zur Farbenlehre, XXXVII и XXXVIII; Geschichte der Farbenlehre, XXXIX; Nachträge zur Farbenlehre, XL.

БОРЬБА ПРОТИВ НЬЮТОНОВСКОЙ ОПТИКИ. ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ ГЕТЕ 157

ние исходило от столь выдающейся личности, но и потому, что, несмотря на неверную свою основу, оно представляло собою искусную и талантливо проведенную *систему* и в конечном результате *не осталось без пользы для науки. К своим оптическим исследованиям Гете пришел в результате своих наблюдений над действием красок в живописи.* В бытность свою в Риме, при близких и частых своих сношениях с художниками, он возымел желание установить твердые точки опоры и научные законы для определения воздействия различных цветов на наш глаз. Он стал искать в теориях оптики, в работах Ньютона и его последователей пояснения и принципиальной опоры для общепринятого различия между холодными и теплыми красками, для предугадываемого *«непосредственного родства голубого с черным»*, для гармонии цветов вообще, но совершенно безуспешно. Тогда он решился лично повторить относящиеся сюда опыты Ньютона, которых ему в свое время не удалось увидеть в университете (так как их постоянно откладывали до наступления солнечных дней), и выяснить, что они могут дать для его целей. По возвращении в Веймар, он для этого взял на время у гофрата Бюттнера различные оптические приборы; но, отвлеченный другими занятиями, он долгое время не принимался за свое исследование до того момента, когда Бюттнер, наконец, прислал нарочного за своими приборами. Гете было неприятно возвращать вещи, не использовав их ни разу, и потому он решил тотчас же сделать хотя бы один опыт. *Взяв стеклянную призму, он стал смотреть сквозь нее на стену комнаты, целиком окрашенной в белый цвет; при этом он, невзирая на преломление, которое должно было иметь место, не заметил абсолютно никаких цветов, решительно ничего, кроме простого белого цвета, за исключением цветной каймы на границе между стеной и окном. Итак, решил Гете, Ньютон в основном пункте все-таки неправ: образование цветов не связано обязательно с преломлением, а стало быть, и происхождение цветов не связано необходимым образом с преломлением.*

Это наблюдение показалось Гете *спасением*, так как ньютоновское учение об образовании белого света путем слияния различных цветных лучей он считал *чудовищным предположением* и основной помехой для всякой рациональной теории цветов. По Ньютону, каждый луч света сам по себе окрашен, причем свет бывает красным, желтым, зеленым, голубым, фиолетовым, в зависимости от величины частиц, истекающих из светящегося тела. *Но каким образом,— спрашивал Гете, — голубой свет с его более мелкими частицами может производить на наш глаз впечатление меньшей яркости, и почему желтые и красные лучи с их более крупными частицами производят впечатление теплых цветов?* Вообще, чем обуславливается гармоническое сочетание некоторых цветов, или же то, безусловно, неприятное ощущение, которое мы получаем от составления других цветов, если особенности цветов зависят только от величины световых частиц? Наконец возможно ли, чтобы цвет, кажущийся нам наиболее чистым и однородным, именно белый свет, в каждом отдельном тончайшем луче слагался по меньшей мере, из семи лучей различных по величине световых частиц, соответствующих отдельным цветам? Нет, *белый и*

158 ТЕОРИЯ ПОЛЯРНОСТИ БЕЛОГО И ЧЕРНОГО

черный цвет представляют две *основные противоположности*, два полюса, как свет и тьма; они содержатся в известном соединении в каждом цвете и обуславливают своим соединением все цвета¹. Следовательно, по отношению к белому и черному цвету нельзя и ставить вопрос об их разложении. *Самому Ньютону ни разу не удалось получить из смешения различных цветов белого цвета*, а лишь более или менее серый,— неопровержимое доказательство, что цвета в своей совокупности не образуют белого цвета, а происходят от смешения света и темноты. Наконец, Ньютон совершенно упустил из виду, что *наш глаз способен самостоятельно вызывать цвета*. Ньютон относит образование цветов именно только к *одному свету*, между тем, как на самом деле *наш орган зрения*, несомненно, *принимает значительное участие в их возникновении*. Таким образом, учение Ньютона о цветах заключает в себе столько невероятного и неправдоподобного, что оно немногим лучше отсутствия всякого учения; оно, без сомнения, должно быть оставлено, как только появится новая теория, которая более правдоподобно и полно объяснит природу цветов. Такую теорию Гете видел в своем учении о цветах.

Полярные противоположности, свет и тьма, приводят наш глаз в два совершенно противоположных состояния — в состояние *высшего напряжения и невосприимчивости* и в состояние *высшего расслабления и восприимчивости*. Оба эти состояния продолжают еще некоторое время после прекращения внешнего раздражения, но наш глаз всегда стремится перейти из каждого из этих двух состояний в другое. Цвета в этом отношении соответствуют крайним противоположностям и образуют средние контрасты, которыми сглаживаются крайние. *Глаз «вынужден оказывать известного рода противодействие, которое, противопоставляя крайности крайность, а среднему среднее, соединяет тотчас же противоположности и стремится к одному целому в чередовании, а равно в совместности и одновременности»*². Если через узкое отверстие в ставне пропустить луч света в темную комнату на белый лист бумаги и пристально смотреть некоторое время на образовавшийся белый круг, а затем закрыть отверстие ставни, то в течение короткого времени мы еще будем продолжать видеть светлый круг. Но вместе с тем края его тотчас же окрасятся в желтый цвет, затем в пурпурный, который разольется по всему кругу, между тем как края станут голубыми; затем голубой цвет, в свою очередь, займет все поле, края же начнут постепенно темнеть, и, наконец, темнота уничтожит всю картину. Цвета, образующиеся здесь последовательно *один за другим*, глаз способен вызвать и *одновременно*; например, если пристально рассматривать зеленое пятно на белом поле, то последнее вскоре окрашивается в пурпурный цвет. *Морские волны, которые на освещенной стороне кажутся зелеными, на теневой*

¹ Sämmtliche Werke, XXXVII, стр. 240—245. Представление о белом и черном, как о полярных противоположностях, вызвано, по-видимому, после-кантовской *натурфилософией*. В числе сторонников своей теории Гете определенно указывает на Шеллинга (XXXIX, стр. 452). Гегель в 1821 г. написал Гете письмо, полное восторженных выражений, по поводу его учения о цветах (XL, стр. 46).

² Sämmtliche Werke, XXXVII, стр. 21.

стороне окрашены в пурпурный цвет, а для человека, идущего по зеленому лугу, стволы деревьев и тропинки получают нередко красноватый оттенок — явления, которые пейзажисты уже давно бессознательно стали воспроизводить. Особенно хорошо заметны эти явления *в цветных тенях*. Если, например, посредством слабого солнечного луча (в сумерки) и пламени свечи получить две тени от палки, то тень, освещаемая пламенем свечи, получит желтую окраску, а другая противоположную — голубую. Если получить две тени от двух свечей и пламя одной из них окрасить при помощи стекла любого цвета, то тень от этой свечи будет нам всегда казаться окрашенной в противоположный цвет.

Описанные до сих пор цвета принадлежат непосредственно глазу и вызываются в нем как противодействие внешнему раздражению, вследствие чего Гете и называет их *физиологическими цветами*. Им противопоставляются постоянные, свойственные самим телам цвета, которые Гете называет *химическими цветами*. Середину между теми и другими занимают цвета, происходящие в глазу от прозрачных и самих по себе бесцветных тел, это — *цвета физические*. Причину последних Гете видит в том, что *свет, попадающий в глаз, пройдя через мутную среду* (более или менее прозрачное вещество), *принимает, в зависимости от меньшей или большей мутности среды, желтый, желто-красный или красно-пурпурный оттенок и что темнота, рассматриваемая через более или менее освещенную мутную среду, кажется нам голубой, синей или фиолетовой*. Следовательно, цвета не представляют собою различных по качеству световых лучей, а являются лишь разновидностью *полусвета* или *полутени*. Вышеописанные влияния мутных сред Гете считает первичными явлениями и подтверждает их различными примерами (окраска солнца дымом в горах, окраска вечерней и утренней зари, окраска отдаленных гор, ледников, явления флуоресценции и т. п.), но — что в данном случае интересно — не приводит в подтверждение своей мысли никаких точных научных опытов. Эти *первичные явления* были им, по-видимому, бессознательно использованы в качестве *первичных определений цветов*, а *правильность последних казалась ему совершенно незыблемой как с точки зрения его исходного положения, так и с точки зрения тех выводов, к которым он пришел*. Поэтому-то он в своей полемике становится наиболее запальчивым в тех именно случаях, когда дело касается противоречащего его учению ньютоновского определения цветов, как различных родов света, характеризующихся различной преломляемостью. Ньютоновское определение он прямо считает *недобросовестным*. Так как происхождение призматического спектра цветов может быть объяснено и помимо ньютоновской теории, то последняя не представляет собою, по мнению Гете, какого-либо доказанного положения и представляет собой *обман*. Ньютоновское определение цветов основывается на его первом опыте — на образовании цветного спектра при помощи узкого пучка лучей, преломленного призмой. Между тем в данном виде этот опыт, на котором построена вся оптика, слишком сложен для правильной его оценки. Если этому опыту придать возможно простейшую форму, если смотреть сквозь призму на

160 ВОЗРАЖЕНИЯ ГЕТЕ ПРОТИВ ОПТИКИ НЬЮТОНА

белую стену или пропустить сквозь призму совершенно свободно весь свет, то не получится никаких цветов, или же только слабо окрашенные *каймы*, — явное доказательство того, что цвета не связаны необходимым образом с преломлением. Если же Ньютон в подобных случаях объясняет происхождение белого света смешением цветных лучей, то тем самым он искусственно вносит и в данное явление свое, ни на чем не основанное предположение. В самом деле, нет ни малейшего основания принимать цвета за нечто первичное и смешением их объяснять происхождение белого света, когда возможен обратный путь ¹. При этом во всех естественных явлениях преломления преобладает белый свет; *цвета же появляются только на наружных краях изображений и требуют этих границ для своего образования*. Это требуется для доказательства правильности теории и подтверждается наблюдением. Когда мы сквозь призму смотрим на белую полосу на черном листе бумаги, то вследствие преломления белая полоса с одной стороны смещается на черное поле и по теории мутных *сред*, она должна казаться здесь голубоватой; наоборот, с другой стороны, черное поле заходит на белую полосу и дает здесь желтую кайму ². Средняя же часть изображения, которая не заходит на темное поле и не покрывается последним, остается обыкновенно белой. Лишь в тех случаях, когда светящаяся белая черта очень узка, окрашенные каймы соприкасаются между собой, образуя непрерывный спектр. Совершенно таким же образом, как спектральные явления преломления, т. е. смешением света и темноты, Гете объясняет и дифракционные цвета (пароптические цвета), цвета *тонких пластинок* (элоптические цвета) и т. д. Во всех случаях он обращает внимание на то обстоятельство, что цвета появляются только на границах света и тени, в виде каймы на краях изображений. Таким образом, основной опыт ньютоновского учения о цветах, при котором *свет насильственно пропускается* через очень узкую щель и в результате сжатия цветных краевых полос получается непрерывный спектр, не есть *общее явление*, а, напротив, совершенно *специальное* явление, принудительно созданное искусственным приемом. *Насилие, которое Ньютон применяет по отношению к природе, жестоко мстит за себя* тем, что теперь

¹ „Света — этим множественным числом создается полный простор для хитрости и обмана, которыми отмечено все сочинение Ньютона. Света, много светов. А что представляют собою эти света?... Мы прямо оперируем с цветными светами и лишь впоследствии узнаем, как и где они, может быть, берут свое начало... Ньютон ставит во главу угла наиболее сложный, субъективный опыт, какой только может быть, умалчивает о его происхождении, остерегается показать его с разных сторон и нападает врасплох на неосторожного ученика, который, однажды попавшись, запутывается в петле и уже не знает, как из нее высвободиться". *Sämmtliche Werke*, XXXVIII, стр. 12—13.

² Впрочем, даже у самого Гете этот случай не представляется настолько простым, как мы его здесь изложили для краткости. При рассмотрении белой полосы сквозь призму все видимое равномерно смещается, и потому свет и тьма не могут вследствие одного этого взаимно налагаться друг на друга. Гете полагает, что при каждом преломлении получаются два отдельных светлых изображения: главное — более светлое и побочное — более темное, которые при преломлении смешиваются не вполне равномерно и таким образом частично налагаются друг на друга (*Sämmtliche Werke*, XXXVII, стр. 81—88).

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ РАСХОЖДЕНИЯ ГЕТЕ С НЬЮТОНОМ 161

все явления могут быть только насильственным путем приспособлены к теории, основанной на единичном, ложно истолкованном опыте.

Помимо *принципиального* расхождения Гете с Ньютоном по вопросу о природе света, здесь на сцену выступает еще и *методологическое расхождение*, обостряющее первое и исключаящее возможность взаимного понимания. Гениальному поэту, восторженному почитателю природы и тонкому наблюдателю в области учения об органическом развитии, вся природа представлялась как *один организм*, одаренный собственной жизнью и своеобразными проявлениями. Человек, отдающийся с любовью наблюдению этой жизни, внимательно присматривающийся к природе и ее проявлениям, может еще, по его мнению, постепенно научиться понимать ее. *Но тот, кто пытается насильственно сорвать покров с ее тайны, кто вынуждает природу застыть в неподвижности и в таком виде стать объектом его пытливости, кто навязывает ей особые условия проявления ее сил, — тот нарушает свободное течение ее жизни и его наблюдения будут свидетельствовать об одних только уродливых, а не естественных процессах.* Вот почему и нельзя ожидать, чтобы из опытов Ньютона, для которых он *насильственно протискивал свет сквозь различные узкие щели и сложные приборы*, можно было бы вывести действительные законы световых явлений. Напротив, всякий непредубежденный мыслящий исследователь природы должен будет прийти к убеждению, что этим путем нельзя получить никаких верных представлений о свойствах чистого свободного света ¹.

Это методологическое возражение Гете против теории Ньютона, разумеется, не расположило физиков в пользу первого. Действительно, если Гете на деле не всегда строго придерживался этих взглядов, если они находили известное оправдание в первенствующей роли, которую Гете отводил глазу в деле возникновения цветов, то, во всяком случае, эта точка зрения указывала на *непонимание различия между методами органических и механико-физических наук*. Однако не в этом следует искать *главную причину*, почему против гетевской теории цветов восстали все физики, не исключая и тех, которые, подобно Зеебеку, вначале склонялись в ее пользу. Ньютоновское учение о цветах приобрело столько преданных приверженцев вопреки многим несостоятельным допущениям, *благодаря математической определенности его гипотез и легкой применимости их для математических выводов*. Математическая сторона как раз была *наиболее слабым пунктом* теории Гете. Сам Гете не обольщался на этот счет, хорошо зная пределы своих способностей в области математики ². Он полагал,

¹ На этот пункт возражений Гете обратил внимание Гельмгольц (Popul wissenschaftl. Vorträge, Braunschweig 1865, 1 Heft. стр. 43).

² Так, минералогу Науману, приславшему ему свое сочинение о кристаллографии, Гете пишет: „*Ваша рукопись пришла в весьма удобное время, и я тотчас же принялся за нее и прочел с удовольствием до стр. 45. Но здесь я очутимся у предела, указанного богом и природой моей индивидуальности. Я ограничен словом, речью и образом в теснейшем смысле, и совершенно неспособен обращаться в какой бы то ни было форме с цифрами и знаками, которыми высокоодаренные умы столь легко владеют*” (Goethe's naturwissenschaftl. Correspondenz 2 Bde., Leipzig 1874, № 205).

однако, что в учении о цветах, основанном главным образом на неподдающихся измерению ощущениях, математические определения качественных величин, не безусловно, необходимы, и потому во многих местах он пытался разъединить физиков и математиков, обвиняя последних в ненужных и бесплодных вторжениях в чужие пределы ¹. С другой стороны, *он надеялся, что математически образованные физики пополнят пробелы его системы и приложат к его теории цветов недостающие ей математические определения* ².

В том, что последнее было вообще невозможно, что его *теория отнюдь не поддавалась математической обработке, следует искать самую полезную по своим последствиям ошибку Гете, — ошибку, которую все физики постигли с первого взгляда, но которую Гете, каким он был, никак не мог понять*. Начиная с его первичных явлений (цветов мутных сред) и до побочных изображений, возникающих при преломлении и предшествующих главным изображениям или следующих за ними, — ничто в его учении не допускало не только ни единого количественного определения световых явлений, но даже какого-либо понятия, которое сделало бы возможным такое определение. Это и заставило физиков совершенно отойти от гетевской теории цветов и примкнуть к учению его противника Ньютона.

В конце концов, была выбита почва из-под самого сильного аргумента, приведенного Гете против физического учения о цветах и заключившегося в возражении против возможности сложного состава белого света. Это возражение потеряло свою силу после отказа от теории истечения и признания волновой теории света. Не приходится отрицать, что ньютоновская гипотеза, согласно которой каждый белый луч света, как бы тонок он ни был, состоит из семи струй световых частиц разной величины, со всеми вытекающими из нее последствиями, представляла собой очень грубую схему, которую в действительности было очень трудно себе представить. Даже с точки зрения теории истечения признание за световыми частицами однородности казалось наиболее естественным, а представление о неравенстве их носило оттенок определенной искусственности. Но с принятием волновой теории света все изменилось. Теперь признание многих родов света, различно окрашенного в зависимости от скорости колебаний, становилось совершенно необходимым. Точно так же и образование луча света в результате сложения различных лучей, световой волны из многих волн перестало казаться странным, по аналогии с музыкальными звуками и их сочетаниями. Даже возможность различной интенсивности цветов, их гармонии и диссонанса становилась понятнее. Не берусь решить, создал ли бы Гете свое учение о цветах после того, как была признана волновая теория света. Во всяком случае, в то время, когда волновая теория одержала верх, т. е. в двадцатых годах XIX века, он уже не был в состоянии предпринять пересмотра своей работы. По поводу темы, объявленной на соискание премии Петербургской академией в 1826 г. о сравнительном достоинстве различ-

¹ Sämmtl. Werke, XL, стр. 468—482. ² Там же, XXXVII, стр. 10.

ФИЗИКИ О РАБОТАХ ГЕТЕ 163

ных оптических теорий, он отзывается сдержанно, выражая, впрочем, надежду, что вызванные ею работы принесут обильные плоды, между прочим, и для учения о цветах.

В прошлое время промахи Гете в области физики переносили в большей мере, чем это необходимо, на все гетевское учение о цветах и даже на те части его труда, которые имеют положительные достоинства. *В последнее время к этим работам стали относиться более справедливо; теперь отдают должное тонкой наблюдательности Гете в области физиологических цветов, эстетическому, художественному его восприятию, а также ясности и талантливости его изложения.*

ВТОРОЙ ПЕРИОД ФИЗИКИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ СТО ЛЕТ

(приблизительно от 1815 до 1840 г.)

ПЕРИОД ПРЕВРАЩЕНИЯ СИЛ

Никогда еще *господствующая философия* не оказывала столь мало влияния на физику, как в оба средние периода XVIII века, но и никогда философия не находилась по своему методу в столь резком противоречии с физикой, как именно в указанное время. Если в начале этого столетия Шеллинг обобщил решающие для тогдашней физики противоположности между силами притяжения и отталкивания между полярными свойствами магнетизма и электричества; если он свел их *на полярную противоположность между субъективными и объективными* и, наконец, построил весь мир на *становящемся единстве этой противоположности*, — то все-таки он всегда оставлял в силе двойной исходный пункт для познания *объективного или субъективного*, а вместе с тем и опыт, как основу естествознания. «Мы можем, — говорит он, — *переходить от природы к себе и от себя к природе, хотя для всякого, кто ставит выше всего знание, истинное направление есть то, которому следует сама природа*».

Наоборот, у Гегеля ¹, философского авторитета второй и третьей четверти XIX века, существует только один исходный пункт для науки и только один объект исследования — *идея*. *Природа*, — говорит он в своих «Лекциях по натурфилософии» ², — *есть идея в форме инобытия, есть отрицательное идеи*. Природа во времени — первое, но абсолютным *primum* является идея; этот абсолютный *primum* есть — последнее, есть — истинное начало, альфа есть омега. *Вне-себя-бытие тотчас же распадается на две формы, положительную — пространство, и отрицательную — время*. Первым конкретным *единством и отрицанием этих абстрактных моментов* является *материя*; если последняя соотнесена к своим мо-

¹ Георг Вильгельм Фридрих Гегель, родился 27 августа 1770 г. в Штутгарте, умер 14 ноября 1831 г. в Берлине; был сыном секретаря казначейства и подобно Шеллингу учился в Тюбингене от 1788 до 1793 г. в качестве студента теологической семинарии. Пробыв некоторое время домашним учителем, он в 1801 г. стал доцентом, а в 1805 г. — экстраординарным профессором в Иене. Но в связи с военными событиями он покинул это место, редактировал до 1808 „Бамбергскую газету“, затем до 1816 г. был директором гимназии Эгидия в Нюрнберге; в 1816 г. сделался профессором философии в Гейдельберге, а в 1819 г. — профессором философии в Берлине. С этого времени влияние его стало расти, а философия его начала играть доминирующую роль.

² Hegel's sämtliche Werke, VII, 1. Alt., Berlin 1842.

НАТУРФИЛОСОФИЯ ГЕГЕЛЯ 165

ментам, то сами они соотнесены друг к другу, — в *движении*. Материя есть форма, в которой *вне-себя-бытие* природы приходит к своему первому *внутри-себя-бытию*, *для-себя-бытию*; для-себя-бытие исключительно и поэтому есть некое множество, которое, концентрируя, как для себя сущее многое, свое единство в некоторое всеобщее *для-себя-бытие*, имеет свое единство, одновременно в себе и вне себя — это *тяжесть*. Материя противоборствует со своим тождеством с собой благодаря моменту своей отрицательности, благодаря своим абстрактным обособлениям, — это *отталкивание материи*. Так как эти различности представляют одно и то же, то столь же существенно отрицательное единство этого *вне себя сущего для-себя-бытия*; таким образом материя непрерывна, и это ее притяжение. В понятии тяжести содержатся оба момента: для — себя-бытия и *снимающей для — себя-бытия непрерывности*. Тяготение есть истинное и определенное понятие материальной телесности, осуществленной в идее. Первая окачественная материя — это материя, как чистое тождество с собой, как единство рефлексии-в-себе, и таким образом она есть лишь первое, само еще абстрактное, проявление. Существовая в природе, она есть отношение к себе, как к самостоятельной, по сравнению с другими определениями целокупности. *Эта существующая всеобщая самость материи есть свет*; как индивидуальность — звезда; а последняя, как момент некоторой целокупности, есть солнце, *хрупкая, как в себе* сущая целостность формирующей индивидуальности, разрешается в различии понятия. Точка переходит сперва в линию, а форма распадается в последней на противоположности, которые, как моменты, не обладают самостоятельным существованием, но держатся только благодаря своему отношению, являющемуся их серединой и пунктом безразличия противоречия. Это *заключение* составляет принцип формирования в его развитой определенности и есть в этой еще абстрактной строгости *магнетизм*. *Электричество* есть чистая цель формы, освобождающееся от нее, есть форма, начинающая снимать свое равнодушие, ибо электричество есть непосредственное выступление, или исходящее от формы, определяемое еще только ею *бытие* — или еще не разложение самой формы, но поверхностный процесс, в котором различия покидают форму, но они сами должны быть обусловлены и еще не являются самостоятельными.

*От этих спекулятивных высот или, лучше, от этой игры словами не было моста к природе, и даже понимание естественнонаучного метода не было более возможно отсюда*¹. Ничего нет удивительного по-

¹ В предыдущем мы изложили взгляды Гегеля почти исключительно его собственными словами. Но мы должны все же заметить, что в его „Лекциях по натурфилософии“ имеются части, способные лучше изложенного объяснить огромное влияние Гегеля в его время на философию. В доказательство мы приведем только одно место, напоминающее до некоторой степени посмертный труд Канта: *Так как движение существует, то нечто движется; это постоянное нечто есть материя. Пространство и время заполнены материей. Пространство не адекватно своему понятию; поэтому само понятие пространства*

166 НАТУРФИЛОСОФИЯ ГЕРБАРТА

этому, что и физики со своей стороны в борьбе против господствовавшей философии, отрицавшей сущность их науки, не только отвергли притязания ее, но и стали вообще отрицать притязания всякой натурфилософии на свою долю работы над их наукой. Ведь об этой идеалистической философии даже философ Гармс¹ говорит следующее: «Построение природы из ее осуществленной в человеке конечной цели всегда смешивает эмпирически познаваемое с всеобще необходимыми понятиями мышления. С абсолютной высоты построения из понятий она впадает в *грубый эмпиризм*, рассматривающий свой *случайный* опыт, как масштаб всякой познаваемой истины», а Иоганн Губер в своем трактате «Die Forschung nach der Materie»² замечает: в послекантовой философии только Гербарт сохранил дух трезвого критического и аналитического исследования проблемы, у других же авторов мы встречаем какие-то чудовищно-фантастические попытки определения материи; так, например, Эмиль фон-Шаден определял подлинную сущность материи, как некий как бы не существующий правихрь, безмерная себя постоянно сызнова производящая активность которого непреодолимо отталкивает всякую постороннюю, желающую преодолеть ее каким-нибудь образом силу.

Действительно, *натурфилософия Гербарта*³ представляет интерес и для физика и заслуживает большего внимания, чем она этого добилась как в свое время, так и после того, вплоть до наших дней. *Согласно Гербарту*⁴ *данные формы опыта таковы, что они порождают противоречивые понятия*. Но так как подобные понятия невозможны, то противоречие это должно основываться на какой-то иллюзии, которую следует отличать от реального бытия, т. е. *остается объяснить, как может возникнуть из реального бытия эта иллюзия, чтобы тем самым решить и указываемые противоречия*. Всякое сущее, т. е. всякая сущность, есть по своей природе нечто единое, исключаящее всякое отрицание и всякое отношение, т. е. всякое множество и всякое изменение. Но так как всякая сущ-

добывается для себя существования в материи. Часто начинали с материи, рассматривая затем пространство и время, как формы ее. Правильно в этом то, что материя есть реальность пространства и времени. Подобно тому, как не существует движения без материи, так не существует и материи без движения.

¹ Encyclopädie der Physik, издание Karsten'a, I, стр. 255, Leipzig 1856.

² München 1877, стр. 16.

³ Allgemeine Metaphysik nebst den Anfängen der philosophischen Naturlehre, Königsberg 1828—1829. Theoriae de attractione elementorum principia metaphisica, Königsberg 1812. Hauptpunkte der Metaphysik, Göttingen 1906 und 1808. Работы эти перепечатаны в собрании сочинений Гербарта, Sämmtliche Werke, Leipzig 1850—1852, III и IV.

⁴ Иоганн Фридрих Гербарт, родился 4 апреля 1776 г. в Ольденбурге, умер 14 августа 1841 г. в Геттингене, сын юриста, учился в Йенском университете с 1874 г. Пробыв от 1797 до 1800 г. домашним учителем, он читал затем два года частный курс лекций; в 1802 г., после защиты диссертации, начал читать лекции в качестве доцента философии и педагогики в Геттингене, в 1805 г. стал там же экстраординарным профессором, в 1809 г.— ординарным профессором в Кенигсберге, а в 1833 г. вернулся снова в Геттинген.

ность выступает в нашем опыте со многими свойствами, то остается объяснить, *каким образом единое может казаться нам многим*. Так как все сущности оказываются в нашем опыте изменчивыми, то остается объяснить, *каким образом неизменное бытие может казаться изменяющимся и, следовательно, всегда отрицающим*. Так как каждая сущность является протяженной и растяжимой, то остается объяснить, *каким образом простое может казаться множественным*.

Но все эти объяснения возможны лишь при допущении, что в действительности существуют *многие простые, непротяженные и неизменные сущности*. Если многие подобные простые сущности существуют совместно или собираются вместе, то они неизбежным образом будут вносить нарушения, мешать друг другу; каждая сущность должна стремиться по отношению к этим нарушениям к самосохранению. *Таким образом, из этих взаимных нарушений и действий самосохранения у многих отдельных сущностей возникают множества отношений, представляющихся нам в виде особенных свойств отдельных вещей. Эти свойства образуют наш опыт, но они не присущи вещам в себе, а представляют лишь отношения, вытекающие из сосуществования многих отдельных сущностей. Поэтому всякая гипотеза о первоначальных силах в материи — ошибочна*. Причины изменений в природе не *транзитивны* (ибо простые сущности ничего не дают и ничего не берут друг у друга), не *имманентны* (ибо каждая сущность есть причина самосохранения другой сущности), они не *трансцендентальные свободы* самосохранения становятся неизбежными, если сущности сосуществуют), не *правила последовательности во времени* (ибо сосуществование прямо обуславливает нарушение и самосохранение), не заключаются в особенных *способностях* (самосохранение существует только между сущностями, а не в них), не заключаются в *тенденциях* или побуждениях (ибо никакое качество какой-нибудь реальной сущности не нуждается в чем-нибудь) и не заключаются также в *сущности силы* (ибо сами сущности становятся целиком и нераздельно силами). *Все существующие простые сущности само по себе не имеют внешних отношений и, следовательно, не существуют в пространстве и не имеют телесного протяжения. Явление материи вытекает лишь из сосуществования многих простых сущностей. Сосуществование и существование друг вне друга последних представляются нашему сознанию в виде пространственных отношений; поэтому отдельные сущности кажутся нам пространственными, хотя сами по себе они и непространственны. Однако для возникновения материи нужны, по крайней мере, три простые сущности. Если бы имелись только две такие сущности, то при сосуществовании они полностью проникли бы взаимно друг в друга; только третья сущность может воспрепятствовать этому полному слиянию в одно. Стремление многих отдельных сущностей к полному взаимному проникновению является нам в силе притяжения, взаимное препятствование — в виде отталкивания, а результат неполного взаимного проникновения — в виде протяженной материи*.

168 НАТУРФИЛОСОФИЯ ГЕРБАРТА

Атом или *материальный элемент* — это соединение простых, реальных сущностей, у которых притяжение вполне равно отталкиванию¹. *Различия материи* основываются на противоречиях их элементов. Противоречия эти могут быть различными. Если даны элементы, которые относятся друг к другу, как красное и синее или как два отделенных друг от друга на октаву тона, то они должны сосуществовать полностью. Но имеются различные — большие и меньшие — степени этой необходимости. Если элементы относятся друг к другу, как красное и фиолетовое, то важно установить, в какой степени красновато или синевато это фиолетовое. Вместе с противоречием изменяется необходимость полного взаимопроникновения, поэтому изменяется и протяжение, убывающее вместе с ним до нуля. Точно так же оно становится нулем у диспаратных элементов. Так, например, между зеленым цветом и тоном Fis не существует никакого противоречия, такие элементы могут находиться в одном и том же месте, в одном и том же пространстве, и все-таки они не существуют друг для друга. Наряду с этим различием *более или менее сильных противоречий* приходится учитывать также их равенство и неравенство. Противоречие равно, если достаточно только одного элемента какого-нибудь рода, чтобы вполне нарушить один элемент другого рода, т. е. побудить его к полному самосохранению. Но, вероятно, всякое противоречие неравно, т. е. необходимо несколько элементов *B*, чтобы полностью нарушить некий элемент *A*. Элементы, обнаруживающие сильные и равные или приблизительно равные противоречия, образуют *твердую материю*. Элементы, обнаруживающие сильное, но очень неравное противоречие, дают *теплород*. Элементы, обнаруживающие слабое и почти равное противоречие, дают *электричество*. Элементы, обнаруживающие слабое и очень неравное противоречие, дают *эфир*. В учении о теплороде, которое всегда будет иметь преимущества перед кинетической теорией теплоты, содержится много непонятного, потому что, не сознавая нелепости предположения о первоначально движущей силе, теплороду приписали какую-то первоначальную силу расширения и приняли его за материю, каковой он вовсе не является; действительно, существует колоссальное различие между материальными молекулами, которые всегда сложны, и элементами, которые просты и потому непространственны. *Эфир есть среда света и тяжести*. «Притяжение на расстоянии как принцип тяжести было у великого Ньютона простой фразой, чтобы отделаться пока от чего-то неизвестного. Оно было у Канта

¹ Гербарт защищается — по нашему мнению, не совсем удачно — от всякого смешения его взглядов с *атомистикой*. „Кто, — говорит он, — рассчитывает найти здесь хоть след атомистики, тот жестоко ошибается. Атомы не могут взаимно проникать друг в друга; у нас же частичное взаимопроникновение является главным основанием того, почему мы вообще принимаем созданную нами фикцию. И здесь именно обнаружится причина того, почему до сих пор должны были оставаться бесплодными все попытки объяснить материю из атомов; или монад". (Werke IV, 2. TI., стр. 213.)

силой, но с идеалистической оговоркой, что эта сила есть лишь понятие и ничто само в себе. У эпигонов, не понимающих осторожности Ньютона и Канта, оно стало предрассудком, от которого они неохотно отказываются ради своего спокойствия». Благодаря изменению притяжения, оказываемому эфиром на массы небесных светил во всех элементах, и благодаря отталкиванию, которое он сам испытывает благодаря своему собственному пребыванию в этих элементах, он приходит в колебательное движение, распространяющееся на бесконечное расстояние. Мы в праве предположить, что каждое тело вызывает в эфире особенную систему колебаний; но несколько взятых вместе тел все более и более вызывают на больших расстояниях такую систему колебаний как если бы последняя исходила из их общего центра тяжести. Поэтому противодействие колеблющегося эфира толкает их действительно к их общему центру тяжести, и, чем больше они к нему приближаются, тем совершеннее соответствуют колебания их положению.

Крайне абстрактный характер метафизики Гербарта, истолковывающей все физические понятия на основании каких-то очень отвлеченных соображений, заставил физиков увидеть в ней одно из тех праздных философских умозрений, на которые не стоит терять своего времени. И в действительности основные определения простых сущностей, необходимость их сосуществования, их самосохранение под влиянием этого, различные и различной силы противоречия элементов представляют трудно доступные и во многих отношениях далеко не более убедительные идеи, чем старые взгляды, которые они должны были заменить собой. Но, с другой стороны, разложение материальных атомов на дальнейшие элементы — это далеко не плохая мысль, а попытка объяснения всех явлений природы, не прибегая к каким-то особенным непонятым первоначальным силам, не апеллируя даже к изменению неизменных элементов, представляет, во всяком случае, интерес и важна для атомистики. Что касается действий взаимопроникновения, самосохранения и т. д., то они имеют то преимущество перед основными силами тогдашней физики, на которую они, правда, во многих отношениях очень похожи, что они отвергают непосредственное действие на расстоянии, отвергают *actio in distans*¹. Гербарт не создал в физике школы; наряду с кантианцами и шеллингианцами в физике нельзя встретить гербартианцев. Антипатии тогдашних физиков ко всякого рода натурфилософии сделали невозможным успех гербартовой метафизики.

Тем не менее, и в этот период естествоиспытатели, конечно проявляли интерес к проблемам материи и силы. Так, например, Берцелиус, при всем своем отвращении к господствовавшей тогда натурфилософии, говорит о только что появившейся теории

¹ Очень ценно то, что Кант и Гербарт, независимо друг от друга и исходя из различных точек зрения, стали принимать для объяснения явлений природы, происходящие повсюду в эфире непрерывные колебания.

170 ДОСТИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. МЕХАНИКА

материи Зеебера ¹ следующее: «Я привожу эту попытку лишь потому, что все подобные рассуждения достойны вообще внимания, а также учитывая то обстоятельство, что если нам когда-нибудь удастся по этому вопросу добраться до правды, то это будет плодом не опыта, а умозрения». Знаменитый теоретик в области электромагнетизма, Ампер, был настолько ревностным почитателем философии, что даже подвергался насмешкам своих сотоварищей по Парижской академии. В то самое время, когда многие знаменитые учителя отвергали на своих лекциях не только существование, но и самую возможность философии, говоря, что все хваленые оракулы ее, Платон, Аристотель, Декарт, Лейбниц и пр., противоречили друг другу и содержанием, и методами своих учений, в то самое время, когда за философами утвердилась в насмешку поговорка: «я презираю тебя, как факт», Ампер пишет одному из своих друзей ². «У меня нет больше утешения в жизни, так как в вопросах метафизики мы не понимаем друг друга ... О том, что единственно близко моему сердцу, ты мыслишь иначе, чем я». Далее, говоря о работах Фарадея, мы покажем, сколько времени, труда и остроумия посвятил этот великий ученый вопросам о материи и силе и сколько пользы отсюда получилось для науки.

На описываемый период приходится одно из славнейших достижений математической физики. Подобно тому, как в свое время Ньютону при помощи принятого им закона всеобщего тяготения удалось точнейшим образом исчислить движение всех небесных тел и указать их движения в прошлом и будущем с такой же точностью, как и в настоящем, — Френелю теперь удалось на основе единственной гипотезы о поперечных колебаниях эфира объяснить все запутанные оптические явления двойного преломления и поляризации и даже предсказать заранее новые открытия. Этим он не только вновь доказал огромное значение математики, в котором стали было сомневаться некоторые из физиков-экспериментаторов, но и укрепил за нею заново славу наиболее точного метода познания в области естествознания. Его же работы вызвали новые математические исследования по вопросу об упругости, обусловив тем самым дальнейшие достижения в области молекулярной механики.

В механико-математической ветви физики старческое одряхление и смерть великих математиков, как Лаплас, Лагранж, Пуассон и др., привели к замедлению темпа ее развития. Великие немецкие математики с Гауссом во главе занимались преимуще-

¹ L. A. Seeder, Versuche zur Erklärung des inneren Baues der festen Körper, „Gilbert's Ann.“, LXXVI, стр. 229, 1824. Berzelius, Bericht über die Fortschritte der Physik und Chemie, V), стр. 75, 1826.

² Араго в написанной им биографии Ампера (Arago's Sämmtliche Werke, II, стр. 32 и 58) отзывается о философских увлечениях Ампера с легким насмешливым юмором, определенно, по моему мнению, недооценивая последствий этих увлечений. В настоящее время, например, заслуги Ампера в области атомистики ценятся гораздо выше, чем, по-видимому, в свое время полагал Араго. (Ср. Kopp, Entwicklung der Chemie, München 1873, стр. 354.)

ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА 171

ственно чистой математикой и аэромеханикой и потому влияли на физику меньше своих предшественников. Некоторые же новые принципиальные достижения, как *применение в механике синтетических методов Пуансо и Мебиусом*, применение понятия работы Понселе и Кориолисом и развитие понятия потенциала Гауссом, Грином и Гамильтоном, были оценены по достоинству лишь в последующие периоды.

В опытной физике здесь на первом месте стоит *открытие электромагнетизма*. Едва ли в физике было другое открытие, которое возбудило бы столько энтузиазма и вызвало столько повторных и новых работ среди всех культурных народов, как названное открытие Эрстеда; *но и ни одно открытие не принесло столь быстро плодов и не повлияло столь сильно на всю физику*. Вслед за наблюдением отклонения магнитной стрелки идет весь тот новый ряд явлений, которые обуславливаются магнитными действиями тока и на которых была прямо основана сохранившая и до сих пор еще свое значение *теория магнетизма*. Вслед за открытием *вращательного магнетизма* скоро следуют *открытие гальванической индукции, термомагнетизма, наблюдение вращения плоскости поляризации света магнитом и действие магнетизма на все вообще вещества*. Электромагнитные явления послужили основой для закона Ома — этой базы всей измерительной теории электричества, для построения Гауссом абсолютной системы мер и, наконец, для *нового фарадеевского воззрения на силы*, развитого позднее более ясно Максвеллом. При посредстве электромагнитных машин был впервые получен постоянный источник электричества; с помощью электромагнетизма впервые попытались *использовать электричество в качестве источника механической работы*; даже первые телеграфы Гаусса и Вебера работали с электромагнитными индуцированными токами. Действия электромагнетизма были сами по себе достаточны, чтобы разрушить старое здание невесомых; понятие о превращении сил, несовместимое с неизменяемостью невесомых, получило свою первую основу в электромагнетизме. Действительно, вместе с полным развитием качественной стороны электромагнитных явлений развивается и получает общее признание принцип превращения сил, и почти вслед за этим прямо следует количественное исследование известных случаев превращения сил.

Ввиду изложенных выше обстоятельств мы могли бы описываемый период физики назвать просто *периодом электромагнетизма*, но мы дали ему более общее название на том основании, что в рассматриваемое время и другие ветви физики способствовали разрушению старых и возникновению новых воззрений. В последнем отношении, наряду с волновой теорией света, следует поставить *теорию теплоты*. Математические обоснования Фурье, данные им точные определения *тепловых единиц* и, наконец, исследования над *упругостью газов* при различных температурах дали возможность Карно установить не только факт превращения тепла в механическую работу, но и *постоянство отношения между обеими этими величинами*. К сожалению, идея о падении теплоты (*chute de la*

chaleur) помешала дальнейшему развитию им этого нового воззрения. Но зато Меллони при помощи новых термоэлектрических и электромагнитных приборов доказал, что *тепловые* лучи по своим свойствам вполне соответствуют световым, чем помог создать основу для нового воззрения на теплоту.

Несколько в стороне от общего пути развития тогдашней физики стояли *проблемы акустики*. Но и здесь наша наука обязана очень многим братьям Вебер, насколько последние в своем учении о волнах представили ясную картину тех явлений, которые стали столь важными для оптики и акустики. С другой стороны, открытие *интерференции звука* еще раз связало явления интерференции с представлением о волнообразном движении и, таким образом, стало еще раз опорой для волновой теории света.

Применение акустических явлений для объяснения некоторых *спектральных явлений*, как это было сделано в более позднее время, тогда еще не было осуществлено; больше того, хотя оно уже в то время напрашивалось, никто подобной попытки не сделал. Открытие *фраунгоферовых линий в солнечном спектре и светлых линий в спектрах искусственных пламен* хотя и прорабатывалось усердно некоторое время, но вскоре было оставлено и предано забвению, так как, не найдя для себя объяснения и оставшись вне связи с другими родственными явлениями, оно осталось неиспользованным. Судьба этого открытия наглядно доказывает *неправильность того утверждения, будто только экспериментальная физика, и только она одна, независимо от других методических факторов, способна обеспечить прогресс науки*. Судьба указанных выше спектральных открытий, наоборот, ясно показывает и непосвященному, что даже накопление новых научных экспериментальных наблюдений скоро прекращается, если на помощь не является общая руководящая и связующая идея: только последняя способна оплодотворить накопленный материал и придать ему действительно научный характер.

ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА (приблизительно от 1815 до 1830 г.). 29 декабря 1826 г. в юбилейный день столетия своего существования Петербургская академия наук объявила следующую задачу на премию: «Природа ставит в области физики света следующие четыре задачи, трудности которых не ускользают ни от одного физика: дифракцию света, цветные кольца, поляризацию и двойное преломление... Мы объясняем эти явления лишь математически: первые два, приписывая свету скрытое свойство (приступы), не выводимое, однако, из каких-либо простых явлений; два последние, сводя их на притягательные и отталкивательные силы, действующие из математической оси, из геометрической линии... Юнг пытался свести причины дифракции и цветных колец к простым законам движения, прибегнув для этого к волновой системе, которая была придумана Декартом ¹, разработана Гюйгенсом, усовершенствована Эйлером, а затем оставлена. Физики охотно присоединились бы к его выводам, если бы этому не воспрепят-

¹ Это неверно. Декартовская теория света не является волновой; см. вторую часть настоящего сочинения, стр. 104 и далее (русский перевод, стр. 124).

ствовали следующие соображения. Световые лучи, попадая через узкое отверстие в темную комнату, сохраняют в последней свое первоначальное направление, не распространяясь подобно звуку во все стороны. Нормальным способом распространения света Юнг признавал только прямолинейное, а между тем ему, или, правильнее, вместо него, Френелю, пришлось допустить для объяснения известных явлений дифракции и другой способ распространения, что ведет к несогласуемому противоречию; не может же свет в некоторых случаях сохранять свое направление, а в других рассеиваться во все стороны. Далее, волновая теория должна исходить из предпосылки, что в более плотных средах свет должен распространяться медленнее, чем в менее плотных, а *между тем Ньютон очень строгими доводами доказал обратное*. И, наконец, чтоб объяснить химические действия света, волновая теория должна допустить, что подобное действие присуще только vibrating световой материи, vibrating эфиру; а между тем, например, воздух, как и всякое другое вещество, обнаруживает химическое сродство и в состоянии покоя, а не только во время процесса звучания. Поэтому академия ставит на разрешение следующие три проблемы: либо найти и твердо установить физические причины упомянутых четырех явлений при помощи теории истечения и приступов, либо, защитив волновую теорию от всех, по-видимому, обоснованных возражений, применить ее и к объяснению поляризации света и двойного преломления, либо, наконец, поднять химическую систему оптики при помощи математических доказательств и убедительных опытов до уровня теории, которая охватила бы дифракцию, цветные кольца, поляризацию и двойное преломление». *Эта задача на премию очень характерна для умонастроения оптиков того времени* и, пожалуй, более характерна, чем этого можно было ожидать от академии. Петербургская академия опоздала со своей задачей: последняя была уже разрешена раньше, чем была поставлена академией на конкурс ¹.

Теория истечения отпраздновала с Био свои последние триумфы. На основе этой теории, с помощью упомянутых раньше добавочных гипотез, Био объяснил все четыре явления, но большего ожидать от теории было уже невозможно. *Требуемое академией сведение всех явлений к одной физической причине выходило за пределы возможностей теории истечения*; кроме основной гипотезы, что свет является эманацией светящихся тел, она требовала еще других добавочных гипотез, и как раз *в той легкости, с какой к ней можно было пристегнуть различные добавочные предположения, и заключалась собственно ее сила*.

Химическая теория света, создание которой академия поставила на третье место, была развита Г. Ф. Парротом ² во втором томе его

¹ Комиссия академии, разбиравшая представленные на конкурс сочинения, состояла из академиков Коллинса, Паррота и Купфера. Из представленных шести сочинений она не признала ни одного достойным премии, и последняя была академией отменена.

² Georg Friedrich Parrot родился в 1767 г. в Мемпельгарде, умер в 1852 г. в Гельсингфорсе, — профессор физики в Дерпте 1800—1826 гг., затем член Петербургской академии наук. Паррот принял для объяснения естественных явлений

174 БОРЬБА ДВУХ ТЕОРИЙ СВЕТА

«Übersicht des Systems der theoretischen Physik» (1809—1811, 2 Bde., Dorpat) («Обозрение системы теоретической физики»). Для объяснения преимущественно химического действия света и различия цветов, он допустил *существование различных Световых веществ, из которых каждому свойственно вызывать определенное цветное ощущение*. Эти вещества, дающие в совокупности ощущение белого света, представляют собою реальные материи, хотя и невесомые, но, вероятно, отличные от теплового вещества. Наделенные определенными химическими средствами, они в различной степени притягиваются телами или, точнее, находящимся в последних эфиром, вследствие чего, проходя через тела, они претерпевают различные преломления и, в свою очередь, различным образом изменяют эти тела, сообразно своим особым химическим средствам. Эта теория, примененная Парротом и для объяснения явлений дифракции и цветных колец (к поляризации и двойному преломлению она осталась непримененной ¹), опиралась на установившийся со времени Ньютона прием объяснять все особые физические явления особыми же материями, наделенными соответствующими и элементарными силами, и уже при самом своем появлении была признана мало удачной, а в то время, когда академия поставила указанные проблемы, она уже была отброшена как совершенно безнадёжная ².

Таким образом, прогресс теоретической оптики, послуживший предметом забот Петербургской академии, мог быть обеспечен только волновой теорией, которая в этом отношении и сделала к рассматриваемому моменту больше, чем, по-видимому, это подозревала академия. Именно, *уже в это время Френель гениальным образом применил волновую теорию к поляризации и двойному преломлению света, и очередная задача, над которой тогда усердно и небезуспешно работали, заключалась в устранении возражений, выдвинутых против этой теории*. Френель ³, как и Юнг, но независимо от него — так как,

особую силу природы, сродство первого рода, взаимное притяжение веществ, благодаря которому последние свободно смешиваются, не теряя своих основных свойств. Этому сродству, свойственному, по Парроту, и весомым и невесомым веществам, присуща деятельность самого общего вида. „Мне бы хотелось,— говорит он, — чтобы эта возвышенная точка зрения, тесно связывающая химию с механикой и столь ясно открывающая механические законы в химических явлениях, была сочувственно принята физиками" („Gilbert's Ann", LI, стр. 321, 1815).

¹ В тех же „Gilbert's Ann." (LI, стр. 321, 1815), где Паррот в трех статьях по оптике отстаивает свою теорию цветов, он говорит: „Я не касаюсь вопроса о двойном преломлении, хотя ключ к этим явлениям и лежит в данной теории, так как сам я еще не делал соответствующих опытов, а с исследованиями г. Малюса я знаком лишь очень бегло по выдержкам".

² Так, например, Брандес заключает свой обзор теории света Паррота в „Gehler's physik. Wörterbuch" (2. Aufl., VI, стр. 372, 1831) следующими словами: „По моему мнению, не приходится надеяться, чтобы эта теория была в состоянии с достаточной точностью объяснить запутанные явления света",

³ Augustin Jean Fresnel родился в Брольи (Нормандия) 10 мая 1788 г. и воспитывался сначала (1801 г.) в Центральной школе в Кане, потом (1804 г.) в Школе инженеров путей сообщения. До 1814 г. он был инженером в департ. Вандее, Дром и др., а в 1815 г. был отставлен от службы Наполеоном как ярый роялист. После вторичного возвращения Бурбонов он был инженером в Париже,

РАБОТЫ ФРЕНЕЛЯ ПО ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СВЕТА 175

по крайней мере, вначале он не был знаком с работами Юнга — начал исследование оптических явлений с *дифракции света*. Первое свое исследование по этому вопросу он представил во Французскую академию в 1815 ¹, а затем в том же году и в ближайшие он сделал несколько дополнений к ней. Вполне же разработанный труд «Mémoire sur la diffraction de la lumière» («Мемуар о дифракции света») был им представлен во Французскую академию 29 июля 1818 г. Рассмотрение этой работы было поручено Араго и Пуансо. Первый из них особенно горячо заинтересовался новыми идеями, обратил внимание на систему Юнга, указал на основные слабые стороны оптических исследований Био, и с этих пор начал работать вместе с Френелем над усовершенствованием волновой теории. Его же влиянию преимущественно следует, вероятно, приписать, что Французская академия в 1819 г. наградила работу Френеля премией. В мемуарах академии она появилась лишь в 1826 г. ². Впрочем, отдельные статьи Френель поместил уже ранее в «Annales de chimie et de physique», vol. I, 1816 и vol. XI, 1819.

В своих работах Френель пошел дальше Юнга в двух направлениях. Явления интерференции он выводил не из взаимодействия двух световых лучей, как Юнг, а из *комбинации элементарных волн*, которые, исходя из всех точек светящейся поверхности, сходятся в наблюдаемых точках. При этом он показал, что *интерференция свойственна не только лучам, прошедшим через узкое отверстие, но и обыкновенному свету, отраженному от зеркала*. Юнг объяснял дифракционные полосы вокруг геометрической тени предмета, освещаемого из очень малого по своему протяжению источника света, интерференцией между лучами, которые идут прямо от источника, и теми, которые отражаются от краев предмета. Френель указывает, что и он держался этой точки зрения в первых своих работах, а затем продолжает ³: «Если бы это было правильно, то от лезвия бритвы, представляющего столь малую поверхность для отражения света, наружные полосы должны были бы получиться менее яркими, чем от спинки бритвы, отражающей много света. Однако никакого различия в яркости полос в действительности не наблюдается». Наружные диф-

потом экзаменатором в Политехнической школе и, наконец, в 1823 г. стал членом академии. Френель был всегда слабого здоровья; в 1824 г. у него было сильное кровотечение, осудившее его на полную научную бездеятельность. Умер он 14 июля 1827 г. в Билль д'Аврэ, близ Парижа. Незадолго до его смерти Лондонское королевское общество порадовало его румфордовской медалью.

¹ Еще 28 декабря 1814 г. Френель писал из Лиона: „Не знаю, что понимают под поляризацией света; я обратился с просьбой к дяде Мериме, чтобы он выслал мне сочинения, из которых я мог бы познакомиться с этим вопросом". (Arago's sämtliche Werke, I, стр. 95.)

² Mém. de l'Acad. de Sciences, V, 1826. Более популярное изложение своих исследований об интерференции и дифракции света Френель сам дал в разделе „Свет" в Supplément a la traduction de la cinquième édition du système de chimie de Th. Thomson par Riffaut (Paris 1822).

Перевод этой статьи на немецкий язык находится также в „Pogg. Ann.", III и V; дальнейшие работы Френеля тоже переведены большей частью в „Pogg. Ann.", XII, XIX, XXI, XXII и XXIII.

³ „Pogg. Ann"., III, стр. 125, 1824.

176 РАБОТЫ ФРЕНЕЛЯ ПО ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СВЕТА

рациональные полосы, в общем, совершенно тождественны с теми цветными полосами, которые получаются при пропускании света через ширму с очень маленьким отверстием. Это явление Юнг тоже объяснял интерференцией прямых лучей с теми, которые отражаются от краев отверстия; Френель же рядом опытов показал, что *и здесь явление не зависит от отражения света*. С этой целью он пропустил пучок света через щель, образованную двумя стальными пластинками, с краями, наполовину заостренными, наполовину закругленными, которые были поставлены рядом таким образом, что у одной из пластинок закругленный край был наверху, а у второй внизу. Несмотря на такое различие краев, в дифракционных полосах не было заметно ни разрывов, ни изгибов. В другом случае он сравнил полосы, пропускаемые их через очень узкое прямоугольное отверстие, выскобленное перочинным ножом в слое туши, покрывавшей зеркальное стекло, и через такой же величины отверстие между двумя медными цилиндрами; и здесь дифракционные полосы оказались одинаковыми¹. В силу этого Френелю ничего более не оставалось, как объяснить появление дифракционных полос интерференцией *всех лучей*, проходящих через отверстие. Он вернулся, таким образом, к *старому принципу Гюйгенса*, согласно которому все точки отверстия, через которое проводит свет, следует рассматривать как центры образования новых волн света, распространяющихся дальше в темном пространстве. На всякую точку воспринимающего экрана падают все элементарные волны, но так как точки экрана находятся на различных расстояниях от разных точек отверстия, то волны приходят сюда в различном состоянии колебания или в различных фазах. Таким образом, освещение каждой точки экрана является результатом *бесконечно многих* освещений, которые частью складываются, частью вычитаются и, следовательно, дают местами усиление, местами ослабление освещения. *Определение величины этого освещения на базе основной гипотезы интерференции бесконечного числа элементарных волн представляло собою чисто математическую, но очень трудную задачу*. Прежде всего, Френелю было необходимо дать выражение для состояния движения каждой колеблющейся точки от центра образования волны. После этого он получил возможность определить *движения*, которые, *исходя из всех точек светящейся поверхности, сходятся в одной точке экрана*. Затем оставалась еще самая трудная задача — просуммировать все эти выражения для бесконечного числа движений, *найти интеграл результирующей силы света для определенной точки экрана*. Все эти немалые трудности Френель преодолел, и результаты его исчислений, полученные при помощи указанного интегрирования, помещенные в его трактате о дифракции света, оказались настолько согласными с данными опыта, что даже его противник Био выразился по поводу них следующим образом: *«Исходя из такого воззрения, Френель сумел с исключительной строгостью подвести под одну общую точку зрения все случаи дифракции и охватить их формулами, которыми отныне и навсегда устанавливается их взаимная зависимость»*. Таким обра-

¹ „Pogg. Ann“, III, стр. 128, 1824.

ОБЪЯСНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДИФРАКЦИИ 177

зом против формул, согласующихся с данными опыта, возражать не приходилось, тем не менее, Био не счел себя в праве умолчать, что *теоретический вывод этих формул из принципа элементарных волн встретил возражение со стороны некоторых первоклассных математиков*, а именно Пуассона («*Annales de chimie et de physique*» 1823 ¹). Позднее вывод френелевских интегралов был много раз упрощен и улучшен, принципиальная же *основа дедукции из принципа интерференции элементарных волн осталась, несмотря на возражения, неприкосновенной*.

Соединением принципа элементарных волн с принципом интерференции Френель, кроме того, разъяснил кажущееся противоречие между прямолинейным распространением света и его отклонением. Элементарные волны заходят и в тень предмета, но здесь они гасят друг друга благодаря интерференции, за исключением нескольких световых полос, лежащих у границы тени.

Упомянутые до сих пор явления интерференции объясняла и теория истечения, хотя и с помощью добавочных гипотез, но *Френель привел и такие новые случаи, которые неизбежно заставили теорию истечения включить чуждый ей принцип интерференции* в цикл ее собственных гипотез. К этому ее побудил известный опыт Френеля с двумя очень слабо наклоненными друг к другу зеркалами, где лучи, отраженные от обоих зеркал, прямо интерферируют ². Здесь уже не могло быть и речи ни о приступах облегченного прохождения или отражения лучей, ни об отклоняющем действии притягательных или отталкивающих сил. *Приверженцы теории истечения могли спастись лишь тем, что объявили интерференцию не объективным явлением, а субъективным, происходящим якобы оттого, что на сетчатке нашего глаза одни световые лучи усиливают, другие же ослабляют друг друга* ³. Странно было все-таки то, что расстояния зеркальных интерференционных полос в точности соответствовали расстояниям цветных полос тонких пластинок или дифракционных полос. Благодаря этому становилось более чем вероятным, что *все эти явления проистекают из одного и того же источника и именно объективного, а не субъективного*, и вместе с тем ньютоновское объяснение цветов тонких пластинок при помощи приступов само собою отпадало.

Френель описал множество приемов для проведения дифракционных опытов, облегчающих как получение, так в особенности измерение этих явлений. Для сконцентрирования падающего света он вместо обычно применявшегося для дифракции листа фольги или картона с игольным проколом вставлял в отверстие затемненной комнаты лупу с очень коротким фокусным расстоянием; а для более удобного наблюдения дифракционных полос он на первых порах направлял их на экран из матового стекла и рассматривал их с задней стороны экрана при помощи лупы с микрометром. Позднее он заметил, что, не изменяя расположения частей своей установки, но со значительным

¹ Biot, Lehrbuch d. Experimentalphysik. IV, стр. 95—96.

² „Pogg. Ann.“, III, стр. 101—116, 1824.

³ Biot, Lehrbuch d. Experimentalphysik, IV, стр. 84.

178 ДИФРАКЦИЯ. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

выигрышем в яркости, можно наблюдать полосы при помощи *лупы*, а в тех случаях, когда не требуется производить измерений, то прямо невооруженным глазом ¹. Странно, что при всем том Френель измерил расстояния дифракционных полос только для красных лучей, пропускаемых некоторыми сортами красных стекол, а длины волн других цветов он вычислил, подобно Юнгу, на основании измерений Ньютона. Во всяком случае, полученное им непосредственно для длины волны красного света число 0,000638 мм очень хорошо согласуется с числом, полученным из измерений Ньютона.

Работа Френеля над дифракцией света несомненно доказала превосходство волновой теории в этой части оптики; но нельзя не признать в противность тому, что думают еще и теперь некоторые физики, что теория истечения все еще имела тогда за собой некоторые преимущества, так что возражения со стороны Био и других противников вовсе не были лишены известного основания. Нет сомнения, что объяснения, данные теорией истечения для описанных выше явлений, были слабее и более натянуты, чем объяснения их с точки зрения волновой теории, но все же они существовали, тогда как область поляризации света, которую Био разработал с таким успехом при помощи теории истечения, оставалась для волновой теории пока еще совершенно недоступной. Френелю и его убежденному союзнику Араго предстояло, таким образом, еще отвоевать и эту область, прежде чем могла быть речь о полной победе волновой теории.

Открытие *хроматической поляризации Араго* и еще более открытие *цветных колец*, получающихся при рассматривании тонких пластинок кристаллов в поляризационном приборе, давали основание полагать, что и при этих поляризационных явлениях может иметь место интерференция. Вполне естественно поэтому, что Френель и Араго, тотчас же после принятия ими волновой теории, занялись исследованием вопроса о *возможности интерференции поляризованного света* с тем, чтобы этим путем по возможности подойти к объяснению поляризации света на основе волновой теории. Френель начал эти исследования уже в 1816 г. и в том же году представил свои результаты академии; полное же, разработанное им совместно с Араго исследование появилось лишь в 1819 г. в «*Annales de chimie et de physique*». Прежде всего, Френель занялся проверкой гипотезы Юнга, согласно которой цветные кольца поляризованного света должны происходить вследствие интерференции обыкновенного и необыкновенного луча, но пришел к отрицательному результату: *оба луча ни при каких условиях не интерферировали друг с другом*. Затем для разрешения данного вопроса в более общем виде, они, по предложению Араго, прибегли к следующей постановке опыта: свет из светящейся точки падал на медную пластинку с двумя очень узкими и настолько близкими друг к другу отверстиями, чтобы прошедший через них свет мог интерферировать. Для полной поляризации света позади каждого отверстия поместили набор слюдяных пластинок достаточной толщины. Каждый из этих в остальном вполне тождественных наборов можно

¹ „Pogg. Ann.“, III, стр. 97—104, 1824.

НАПРАВЛЕНИЕ СВЕТОВЫХ КОЛЕБАНИЙ 179

было вращать вокруг оси проходящих лучей, сохраняя постоянным наклон, так что плоскости поляризации испытуемых с точки зрения интерференции лучей можно было наклонить под любым углом друг к другу. Этим путем Френель и Араго пришли к следующим основным положениям: 1) *два луча, поляризованные в одном и том же направлении, интерферируют между собою, как лучи обыкновенного света*; 2) *два луча, поляризованные под прямым углом, не интерферируют ни при каких условиях*; 3) *два луча, поляризованные под прямым углом и происходящие из одного поляризованного луча, интерферируют друг с другом, будучи приведены к одной и той же плоскости поляризации*; 4) *два луча, поляризованные под прямым углом, но происходящие из обыкновенного света, не интерферируют и при последних условиях*. Явления хроматической поляризации объяснялись последними двумя положениями непосредственно без помощи всякой добавочной гипотезы; эти положения представляли собою, таким образом, необходимое дополнение к мысли Юнга о происхождении цветов из интерференции различно преломленных лучей. Другими словами, лучи, выходящие из тонкой пластинки двоякопреломляющего кристалла, интерферируют лишь при условии, если свет, падающий на пластинку, поляризован (этим и обуславливается необходимость применения поляризатора) и если оба луча приведены в одну и ту же плоскость (что делает необходимым применение анализатора).

Однако наиболее важным из этих четырех положений было *второе*, так как из него с полной убедительностью вытекает, *что в лучах света, поляризованных под прямым углом, колебания не могут происходить в одном и том же направлении, так как в этом последнем случае движения должны были бы складываться и вычитаться, т. е. взаимно усиливать или ослаблять друг друга*. Но, для того чтобы при параллельном ходе поляризованных лучей направление колебаний было все-таки различно, *направление колебаний не должно совпадать с направлением светового луча или с направлением распространения света — колебания света ни в коем случае не могут быть продольными*. Мысль о поперечности световых колебаний, необходимо вытекавшую из второго положения, Юнг сообщил в письме Араго тотчас же по опубликовании первых опытов Френеля, именно 12 января 1817 г. Однако многим физикам и особенно математикам, Лапласу, Пуассону и др., гипотеза колебаний в однородной среде, происходящих не в направлении распространения волн, а в направлении наклонном или даже перпендикулярном к последнему, показалась *нелепостью*¹. Да и Френель принял ее в качестве одной из основ своей теории лишь после того, как убедился в плодотворности применения ее к явлениям поляризации, и после того, как доказал возможность ее с механической точки зрения². Это было им сделано в 1821 г.

¹ Ср. Verdet, Wellentheorie des Lichtes, перевод Exner'a I, стр. 349, Braunschweig 1883.

² О гипотезе поперечности колебаний света Френель говорит: „Однако эта гипотеза находилась в таком противоречии с общепринятыми представлениями о природе колебаний упругих жидкостей, что я долго не решался ее принять; и даже когда совокупность всех фактов и долгое размышление убедили меня,

180 ДВОЙНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ И ЕГО ПРИЧИНА

в работе «*Considération mécanique sur la polarisation de la lumière*» («*Annales de chimie et de physique*» (2), XVII, стр. 179) («Механическое соображение о поляризации света») и вскоре затем полнее в «*Mémoire sur la double réfraction*» («Мемуар о двойном преломлении»). Последняя работа была представлена в академию в том же 1821 г., а в 1822 г. комиссией, состоявшей из Араго, Ампера и Фурье, была признана превосходной. В Мемуарах академии она появилась лишь в 1827 г. в VII т.¹ В отзыве комиссии о поперечном направлении световых колебаний сказывается еще некоторая нерешительность: «*Что же касается теоретических представлений автора об особом виде колебаний, свойственных свету, то комиссия не могла еще пока придти к окончательному решению; но, с другой стороны, она не могла без явной несправедливости задерживать долее опубликование работы, трудности которой уже засвидетельствованы тщетными усилиями самых искусных физиков и в которой соединились в одинаковой мере и высокий талант наблюдателя, и гений изобретателя*»².

Из гипотезы поперечных колебаний света вытекают с чрезвычайной легкостью все явления поляризации: их происхождение, свойства в отношении отражения и преломления и, наконец, даже положения об интерференции отраженного света, экспериментальное открытие которого и послужило исходной точкой для данной гипотезы. Однако происхождение двойного преломления все еще представляло трудности, с которыми вполне справиться не мог и Френель.

Изучая двойное преломление, Френель открыл, что в двуосных кристаллах ни один из лучей не следует закону преломления; поэтому нельзя было принять, подобно Юнгу, что двойное преломление объясняется образованием шаровой и эллипсоидальной волны. Тем не менее, Френелю не удалось вывести вида поверхности волны, и он принял для нее $a^2r^2 + b^2r^2 \sin^2 \theta$, как это видно из оставленных им рукописей, уравнение 4-й степени на том основании, что при некоторых условиях она должна была распасться на две поверхности 2-й степени; и уж вслед за тем он индуктивно определил коэффициенты этого уравнения³. Подобно Юнгу, Френель признал причиной двойного преломления неравномерную упругость светового эфира в кристаллах по разным направлениям. В двоякопреломляющих кристаллах упругость по трем взаимно перпендикулярным осям бывает наибольшей, средней и наименьшей. Упругая сила, заставляющая колеблющуюся частицу возвращаться в свое положение равновесия, не завися, вследствие несжимаемости эфира, от направления распространения волн, зависит только от направления колебания частичек. Но в однородной среде

что эта гипотеза необходима для объяснений оптических явлений, я пытался раньше, чем предоставить ее на суд физиков, убедиться в том, что она не противоречит основам механики. Будучи смелее в своих предположениях и меньше доверяя взглядам математиков, г. Юнг опубликовал эту гипотезу раньше меня (хотя, может быть, открыл ее и позднее)". „Pogg. Ann.", XXIII, стр. 380, 1831.

¹ Также „Pogg. Ann.", XXIII, стр. 372—434; 494—556, 1831.

² Ср. Whewell-Littrow, Geschichte der inductiven Wissenschaften, II, стр. 466—472.

³ Ср. Verdet, Wellentheorie des lichte, I, стр. 358, Braunschweig 1883, перевод Exner.

ПЛОДОТВОРНОСТЬ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ 181

скорость распространения пропорциональна корню квадратному из упругости. Из этих положений, к которым присоединяется еще одно последнее, а именно, что в поляризованном свете колебания происходят перпендикулярно к плоскости поляризации, выводятся уже чисто математически все явления двойного преломления, и, прежде всего основные факты, *что во всяком двоякопреломляющем кристалле есть два направления, оптические оси, вдоль которых лучи, поляризованные в любом направлении, распространяются с одинаковой скоростью и потому не разлагаются, но что всякий падающий на кристалл луч, не совпадающий по своему направлению с осями, разлагается на два поляризованных луча, плоскости поляризации которых взаимно перпендикулярны друг к другу.* Для построения обоих лучей служит, как у Гюйгенса, *поверхность волны*, состоящая из двух облегающих друг друга оболочек с четырьмя общими точками на концах оптических осей ¹.

Френелевская теория поляризации света и двойного преломления оказалась очень плодотворной и вскоре нашла дальнейшие подтверждения. Его исследования *об упругости тел*, вызвав новые работы в том же направлении, послужили основанием для всех вообще последующих теорий упругости. Существование связи между упругостью тела и его оптическими свойствами Френель сам строго доказал, показав ², что стекло, будучи сжато в одном направлении, становится двоякопреломляющим, причем оптическая ось располагается в направлении давления.

Наблюдая *полное отражение*, Френель заметил, что два различно поляризованных луча, претерпев на внутренней поверхности стекла полное отражение, замедляются в своих колебаниях в различной степени, следовательно, они отчасти сохраняют свойства поляризованного света, отчасти нет. Это обстоятельство побудило его внимательнее *исследовать встречу лучей, поляризованных в разных плоскостях и, следовательно, неспособных к интерференции.* Два колебания могут полностью взаимно уничтожиться в какой-либо точке лишь при условии, если они имеют одинаковое направление. Если последнего условия нет налицо, они могут сложиться в прямолинейное колебание только в том случае, когда они достигают данной точки, находясь в совершенно одинаковом колебательном состоянии, или же когда разность их фаз равна нулю. Если и это последнее условие не выполнено, оба прямолинейные колебания слагаются вообще в *эллиптическое*, которое для случая разности фаз в $1/4$ периода переходит в *круговое*. Этою *эллиптической* или *круговой поляризацией света* Френель оказался в состоянии объяснить не только упомянутые выше явления при полном внутреннем отражении, но и все особенности так называемой *вращательной* поляризации, которая была

¹ Ср. *Verdet-Exner*, Wellentheorie, I, стр. 356 и др.; *Beer*, Einleitung in die höhere Optik, 2. Aufl, стр. 257 и др., Braunschweig 1882.

² *Annales de chimie et de physique*", XX, стр. 376, 1822. „*Pogg, Ann.*“, XIX, стр. 539, 1830. Уже до Френеля Брюстер установил, что поляризованный свет, проходя через сжатое стекло, получает окраску.

182 ПРИЕМ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ ФИЗИКАМИ

замечена Био на кварце и разных жидкостях и которая причинила ему не мало затруднений¹.

Френель умер в 1827 г., не дожив до окончательного торжества своих воззрений. Сначала ему пришлось выдержать сильную борьбу с Био. Последний только незадолго до этого при всеобщем одобрении физиков объяснил запутанные явления поляризации на основе теории истечения и конечно не был склонен легко расстаться с плодами своих трудов. Дело дошло до очень горячих пререканий, нашедших место преимущественно в XVII томе «*Annales de chimie et de physique*». В третьем издании своего «Учебника экспериментальной физики» Био² говорит по поводу собственной теории подвижной поляризации: «Мне казалось, что из этого исследования вытекает с полнейшей очевидностью, что попеременное перемещение плоскости поляризации световых частичек из стороны в сторону представляет собою не только непосредственное последствие и правильную картину явлений, но и единственный способ их выражения с точки зрения гипотезы о материальности света, которой я придерживался при их исследовании. *При других воззрениях на основные свойства светового начала потребуются, конечно, иные взгляды и иные объяснения для тех же явлений; и те лица, которые придерживаются таких воззрений, должны будут, конечно, взять на себя труд объяснить эти явления со своей точки зрения с такою же строгостью и до таких же мельчайших подробностей; и если им это удастся, они выполнят полезную работу, которой я, конечно, не откажу в своем одобрении*». И действительно, Био, при его долгой жизни, представилась возможность не только выразить свое одобрение, но и перейти в лагерь своего противника. Другую борьбу пришлось выдержать Френелю из-за своей идеи о поперечном направлении световых колебаний. Эта гипотеза показалась физикам вначале просто чудовищной. Даже Араго, мужественно защищавший до сих пор Френеля в его споре с Био, не решился прямо следовать за ним в этом вопросе. Лаплас так и умер, не обратившись в новую веру. Пуассон же доказал в XXII т. «*Annales de chimie et de physique*», что на основании существующих до сих пор представлений об упругой жидкости все колебания должны происходить нормально к поверхности волны, а не по касательным направлениям к последней и что, следовательно, поперечные колебания требуют допущения новых сил в эфире. В следующем XXIII т. того же журнала³ Френель ответил, что Пуассон действительно, может с полным основанием дополнить свои предста-

¹ „*Aimales de chimie et physique*“, XXVIII, стр. 147, 1825. „*Pogg Ann.*“, XXI, 276, 1831. Статьи о круговой поляризации были представлены Френелем в академию в 1817 г. и в 1818 г., но они не были напечатаны и даже извлечения из них не были опубликованы.

² *Biot*, Lehrbuch der Experimentalphysik, IV, стр. 166.

³ Также в „*Pogg. Ann.*“, XXIII, стр. 400—405, 1831 г. Френель признает что при старом воззрении о равномерной сжимаемости эфира во всех направлениях поперечные колебания невозможны. По он настаивает на принятии математиками той мысли, что сопротивление эфира сжатию (в направлении распространения волн) должно быть значительно больше той упругости, которая вызывается простым (поперечным) перемещением частиц.

ОТКРЫТИЕ ТЕМНЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ТЕЛ 183

тления об эфире и его упругости и что эфиру с одинаковым правом можно приписать упругие свойства как твердого, так и жидкого тела; — это заставило уже и физиков-математиков признать возможность поперечных колебаний. Несмотря на это, еще до 1830 г. преобладало мнение, что оптические явления почти одинаково хорошо объясняются как теорией истечения, так и волновой теорией света. Однако после этого года начинается медленный поворот. Уже Фехнер в своем «Repertorium der Physik» (1832, Bd. II, стр. 345) говорит: «Волновая теория начинает благодаря работам Френеля приобретать перевес над теорией истечения; она так заманчиво просто объясняет много явлений, которые считались до сих пор необъяснимыми или же объяснялись с большими натяжками теорией истечения, что знакомство с ней становится все более необходимым для всякого, кто хочет основательно разобраться в теории оптических явлений и, в особенности, в столь интересных и удивительных явлениях поляризации». Однако некоторые физики продолжали и после этого придерживаться старой теории. Так, например, Брюстер еще в 1833 г. заявил с горечью ¹: «По изложенным основаниям я еще не решился преклонить колени перед новым алтарем и должен сознаться, что национальная слабость все еще побуждает меня чтить и поддерживать разрушающийся храм, который некогда был ареной деятельности Ньютона».

Основаниями, на которые здесь указывает Брюстер, были новые оптические открытия, а именно, *обнаружение светлых и темных линий в спектрах светящихся тел*. Однако и Брюстеру пришлось дожить до того времени, когда и эти явления стали надежным неопровержимым доказательством в пользу волновой теории. Несколько интересных замечаний о структуре спектров можно найти уже в сочинении Уолластона 1802 г., посвященном вопросу об измерении преломляющей способности и дисперсии тел при помощи полного отражения ². Уолластон отмечает, что *солнечный спектр состоит из четырех цветов: красного, желто-зеленого, голубого и фиолетового, которые ограничены явственными черными линиями; только граница между зеленым и голубым цветом выражена менее резко, а по обе стороны этой границы лежит еще по одной темной линии; и спектры раскаленных тел, а также электрического света, тоже не непрерывны*, они состоят из большого количества цветных полос, отделенных друг от друга «промежутками. Однако Уолластон не считал этих явлений постоянными, полагая, что они *изменяются в зависимости от призмы и яркости света*; поэтому он не придал особого значения своему открытию, а другие физики последовали его примеру.

Иначе отнесся к этому вопросу Фраунгофер ³, напечатавший свою первую работу десятью годами позже в мемуарах Мюнхенской акаде-

¹ Phil. Mag. (3) II, стр. 360; Pogg. Ann. XXVIII, стр. 381, 1833.

² William Hyde Wollaston (родился 6 августа 1766 г. в Дергаме, умер 22 декабря 1828 г. в Лондоне, в начале — врач, потом — частное лицо), A method of examining refractive and dispersive powers by prismatic reflection, Philosophical Transactions, 1802. Также в „Gilbert's Ann.“, XXXI, стр. 235—250; стр. 398—415, 1809.

³ Joseph Fraunhofer, сын бедного стекольщика, родился в Штраубинге (Бавария) 6 марта 1787 г., с малых лет он должен был помогать своему отцу в его

184 ФРАУНГОФЕРОВЫ ЛИНИИ

мии за 1814—1815 гг.¹. Установив, что совершенство ахроматических объективов сильно страдает от *незнания рассеивающей способности разных сортов стекла*, он попытался, прежде всего, определять дисперсию различных стекол *по длине спектров, полученных при помощи призм* из соответствующих сортов стекла, но вскоре оставил этот путь вследствие отсутствия резких границ в спектрах. Та же неопределенность границ помешала и измерению дисперсии отдельных цветов спектра. Для этой цели было бы пригодно пламя, испускающее однородный свет или небольшое число цветных тонов, но такого пламени Фраунгофер найти не мог. По счастью, он заметил при этих опытах, что в спектрах пламени многих веществ, каковы, например, спирт, масло, соль и пр., *между красным и желтым цветом существует светлая, ясно очерченная полоса, занимающая во всех спектрах всегда одно и то же положение. Этой полосой он и воспользовался, чтобы при помощи довольно сложных приемов фиксировать определенные места спектров*. Когда он затем попытался применить свой метод к солнечному спектру, он обнаружил, что *здесь все подобные места уже прямо обозначены резкими или слабыми вертикальными линиями, которые, однако, были не светлее, а темнее прочих частей спектра*; некоторые же из них были совсем чернью. Эти линии, носящие его имя, он наблюдал, поместив перед зрительной трубой теодолита Призму из флинтгласа, на которую солнечный свет падал через узкую щель ставни, удаленной от призмы на 24 фута. *Таким образом, Фраунгофер раньше Френеля наблюдал спектральные цвета субъективно, не прибегая к предварительному проектированию их на экране, и, во всяком случае, был первым, применившим для этой цели увеличительный прибор*. При указанных условиях ему удалось зафиксировать большое число линий, из которых важнейшие он, как известно, обозначил буквами; на проме-

деле и потому до 14 лет не умел ни читать, ни писать. В 1806 г., побывав предварительно в учении у зеркального мастера и шлифовальщика стекол, он поступил в механико-оптическое заведение Утцшнейдера в Бенедиктбейреве, а в 1809 г. стал участником этой фирмы. После того как это заведение в 1819 г. перешло в Мюнхен, Фраунгофер стал там профессором, членом Академии наук и хранителем физического кабинета. Умер он 7 июня 1826 г. в Мюнхене. Его оптические инструменты, его телескопы, встречающиеся почти на всех обсерваториях, являются лучшими памятниками его гениальности. На его надгробном памятнике имеется надпись: „*Approximavit sidera!*“ (Приблизил звезды).

¹ Извлечение из этой работы приведено в „*Gilbert's Ann.*“ (LVI, стр. 264—313, 1817) под заглавием „*Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glassorten in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre*“ („Определение преломляющей способности и дисперсии разных сортов стекла в связи с усовершенствованием ахроматических зрительных труб“). Было ли Фраунгоферу известно сочинение Уолластона — для меня неясно. Сам он в своей работе об этом не говорит ни слова и описывает свое наблюдение темных линий как открытие („*Gilbert's Ann.*“, LVI, стр. 278). С другой стороны, замечание его, что темные линии ни в коем случае не представляют собою границ между разными цветами, напоминает о противоположном утверждении Уолластона. Кроме того, трудно себе представить, чтобы он мог не заметить столь важной для него работы Уолластона, которая была напечатана в „*Gilbert's Ann.*“. Во всяком случае, принимая во внимание, что открытие его предшественника осталось в неразработанном виде, Фраунгофер имел полное право считать свое наблюдение самостоятельным открытием.

ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ЗВЕЗД 185

жутке между *B* и *H* ему удалось насчитать до 574 линий. Расстояния наиболее резких линий он измерил при помощи теодолита и нанес их с соблюдением точной пропорции на рисунок; более же слабые линии были им нанесены на глаз ¹. *Эти линии всегда сохраняли в солнечном спектре одинаковое относительное положение и при всех условиях лежали в тех же цветных областях.*

Далее, Фраунгофер убедился, что причиной их является природа солнечного света, а не дифракция или же оптический обман. Побуждаемый странной природой этих линий к дальнейшим наблюдениям, Фраунгофер открыл эти самые линии и *притом в тех же относительных положениях* в спектре Венеры. В свете Сириуса он нашел одну линию в зеленом цвете и две в голубом, однако, *совершенно отличные* от соответствующих линий солнечного спектра; другие неподвижные звезды тоже давали линии, но опять-таки отличные от предшествующих. *В спектре электрического света* тоже открыты светлые линии, особенно одна блестящая в зеленом. Спектры *лампового света, подобно пламени водорода и алкоголя*, дали две близкие друг к другу красновато-желтые светлые линии, очень схожие с обоими темными линиями *D* солнечного спектра.

Но даже и после этой работы Фраунгофера физики, по-видимому, не придавали особенно важного теоретического значения линиям. Био даже в 3-м издании своего учебника не упоминает о них ни единым словом, а в первых книгах «Gehler's physik. Wörterbuch» («Физического словаря Гелера») о них упомянуто лишь мимоходом. Лишь после того, как вышло в свет второе, более обширное сочинение Фраунгофера, предпринятое по существу уже с иными целями, и другие физики занялись исследованием этих явлений. Это сочинение появилось в восьмом томе Мюнхенских мемуаров за 1821—1822 гг.² и было посвящено почти исключительно явлениям дифракции. Если свет, пропущенный через очень узкую щель, отбросить на экран, то, как известно (из опытов Френеля и др.), по обе стороны светлой центральной полосы получается ряд цветных полос или даже целые спектры, в которых, однако, отдельные цвета не однородны; Фраунгофер называет эти полосы *спектрами первого класса*. Если же единичную щель заменить большим числом равных щелей с равными промежутками между ними, то на месте прежних спектров появляются новые, с совершенно однородными цветами; эти спектры Фраунгофер называет *спектрами второго класса*. Для получения таких равных щелей Фраунгофер пользовался тонкой проволокой, которую он наматывал на ходы очень тонкого винта, или прорезывал тонкие параллельные линии в листке золота, наклеенном на стекле (в самых тонких решетках расстояние между двумя соседними линиями составляло 0,00114 дюйма),

¹ Этот рисунок воспроизведен в „Münchener Denkschriften“ за 1814—1815 гг., в уменьшенном масштабе в „Gilbert's Ann.“, LVI, табл. IV; также в „Gehler's physik. Wörterbuch“, 12. Aufl., IV, табл. II, 19.

² Дальнейшие наблюдения были помещены в „Gilbert's Ann.“, LXXIV, стр. 337—378, 1823 под заглавием „Neue Modifikationen des Lichtes durch gegen seitige Einwirkung und Bewegung der Strahlen und Gesetze derselben“.

186 ОБЪЯСНЕНИЕ ТЕМНЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ

или, наконец, наносил алмазом тонкие штрихи на стекло. Последние линии были так тонки, что их не было видно даже и в микроскоп; Фраунгофер исчислил расстояние между двумя соседними линиями в 0,0001223 дюйма. При помощи тонких решеток получаются очень широкие спектры второго класса, — настолько широкие, что их так же удобно наблюдать, как спектры от больших призм¹. *В дифракционных спектрах встречаются те же линии, что и в призматических, и в тех же точно относительных положениях.* Отсюда Фраунгофер сделал вывод, что причина их заключается, безусловно, не в каких-либо побочных условиях опыта, а в природе света, и именно в отсутствии в колебаниях эфира воли определенной длины. *Но чем обуславливается такое отсутствие, этого Фраунгофер не разбирает.* Темные линии выступали настолько ясно, что даже во втором спектре (считая от светлой полосы посередине) линии расщеплялись на две линии, и их взаимное расстояние можно было измерить. Вообще же различать темные линии можно было вплоть до 13-го спектра включительно. Для Юнга, как и для Френеля, было ясно, что по размерам дифракционных спектров можно определить длину волны различных цветов; *и если они все-таки этого не сделали, то лишь потому, что они считали невозможным установление точных положений в спектре.* Для Фраунгофера же, благодаря присутствию темных линий в спектре 2-го класса, последнее было очень легко. По расстояниям соответствующих линий в соседних спектрах и по расстояниям между щелями решетки Фраунгофер очень просто определил разности путей световых лучей и отсюда длины волн цветов, соответствующих темным линиям спектра. Последние его определения дали следующие длины волн ω для линий:

$$C_{\omega} = 0,00002422$$

$$D_{\omega} = 0,00002175$$

$$E_{\omega} = 0,00001945$$

$$F_{\omega} = 0,00001794$$

$$G_{\omega} = 0,00001517$$

$$H_{\omega} = 0,00001464$$

Положение линии *B* нельзя было при этих измерениях определить с достаточной точностью, а линию *A* Фраунгофер и вовсе не мог найти в дифракционных спектрах. О призматических спектрах и их линиях он в этом исследовании сообщает мало нового. Он упоминает лишь об устройстве большого прибора для наблюдения спектров планет и неподвижных звезд, с которыми он и сделал много наблюдений.

Фраунгофер является решительным сторонником волновой теории. Это следует прямо из его слов: «Даже те, которые не считают себя последователями волновой теории, должны будут, продумав результаты этих опытов, признать за величиной ω реальное значение. Как бы ни смотреть на эту величину, ее природа такова, что одна половина ее по действию противоположна другой; так что когда передняя половина вполне совпадает с задней или пересекает ее под малым углом, то дей-

¹ „Gilbert's Ann", LXXIV, стр. 348, 1823.

ДИФРАКЦИОННЫЕ РЕШЕТКИ И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ 187

ствия их взаимно уничтожаются; если же друг с другом совпадают две передние или две задние половины, то их действие удваивается. Этот факт лежит в основе интерференции. *Конечно, если бы кто-нибудь мог представить себе такое свойство выраженным в какой-либо иной форме, чем волна, то это вполне соответствовало бы его воззрению*¹.

Однако в своих работах Фраунгофер не ставит себе целью дальнейшее развитие теории. К самым явлениям он относится скорее с точки зрения Юнга, чем Френеля, и, по-видимому, рассматривает интерференцию как результат взаимодействия только двух лучей, а не суммарного действия всех падающих лучей. Он даже не попытался математически вывести интересные явления, производимые его решетками, из волновой теории, имея при этом полную возможность подтвердить правильность этой теории согласием аналитических выводов с результатами опыта. *Фраунгофера интересовали только непосредственные цели — фактическое установление явлений и использование их для научно-технических работ, а именно для изготовления хороших ахроматических рефракторов.*

Вывести явления дифракционных решеток из гипотезы волнообразного движения и дать, таким образом, экспериментальное подтверждение этой теории удалось впервые Шверду² в его известной работе «Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalgesetzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt» (Mannheim 1835) («Явления дифракции, аналитически выведенные из основных законов волновой теории»), Фраунгофер применял для своих работ по дифракции простые и скрещенные решетки, части решеток, правильно повторяющиеся, и круглые отверстия; Дж. Гершель прибавил к этому в 1828 г. треугольники и части треугольников. Шверд показал, что все эти разнообразные виды явлений могут быть выведены чисто аналитически, подтверждая этим неукоснительно всякий раз волновую теорию. После этого и последние возражения против нее умолкли. Впрочем, Ж. Бабинэ³, тоже изучавший явления решеток, под влиянием их уже в 1829 г. настолько проникся убеждением в правильности волновой гипотезы, что даже предложил *принять длину определенной световой волны за единицу линейной меры* как величину, абсолютно неизменную и независимую даже от космических переворотов.

Замечательное и совершенно своеобразное подтверждение — его сравнивают с подтверждением ньютоновской теории тяготения открытием Нептуна астрономом Леверрье — получила теория волнообразного

¹ „Gilbert's Ann.", LXXIV, стр. 369, 1823. ω обозначает здесь, конечно, длину волны.

² Fr. Magnus Schverd родился 8 марта 1792 г. в Оттгофене, близ Вормса, умер 22 апреля 1871 г. в Шпейере, учился в 1809—1813 гг. в Маннгейме и Майнце, стал с 1814 г. учителем прогимназии, а в 1816 г. — профессором лицея в Шпейере; последнее место он занимал в течение 55 лет до самой смерти. Член Мюнхенской академии и Лондонского королевского общества.

³ Jacques Babinet (родился в 1794 г. в Люзиньяне, умер в 1872 г. в Париже, — профессор физики в Пуатье, потом в Париже), Sur les couleurs des reseaux „Annales de chimie et de physique" (2), XL, стр. 166, 1829; „Pogg. Ann.", XV стр. 505.

188 МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

движения в 1832 г.¹ У. Р. Гамильтон доказал аналитически, что при известных условиях луч света по выходе из двоякопреломляющего кристалла не может остаться в виде единого луча и не может раздвоиться, а должен превратиться в полный световой конус. По просьбе Гамильтона Ллойд² подтвердил это теоретическое открытие на опыте: будучи отброшен на бумажный экран, световой конус дал светлое кольцо. Эти явления известны под названием *конической рефракции*.

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ (приблизительно от 1820 до 1830 г.). Уже много раз случалось гальванизму вторгаться в другие области физики, но эти явления либо оставлялись вовсе без внимания, либо недостаточно оценивались. Некоторые действия тока, например химическое разложение, считали само собою понятными, или же, когда не знали, что с ними делать, их дальше вовсе не упоминали. *Однако отношение сразу резко изменилось, когда ток оказался способным производить и магнитные действия и даже не оставил в покое стрелки компаса.* Самая замкнутая и наиболее узкая область физики, магнетизм с его жидкостями, действующими лишь через железо, была сразу завоевана и замещена гальванизмом. Это открытие повелительно указало даже многим консервативным физикам, что уже пришла пора значительно расширить и обобщить существующие представления о действии электричества, а вместе с тем и о природе сил вообще. Коль скоро электрический ток способен вызывать магнитные действия, представление о двух разных невесомых жидкостях, электрической и магнитной, не может более удержаться, и впервые *физике приходится отказаться от одной из невесомых материй, которые утвердились в ней так прочно.* Но это был вообще первый толчок к ниспровержению целой системы физики. *Если магнитные явления и магнитные силы не являются больше результатом действия особых материй, но сообщаются многим веществам электрическим током, то связь между проявлением силы и элементарным качеством вещества оказалась разрушенной, и первое должно быть сведено хотя бы частично на явления движения.* Но это был первый шаг назад от ньютоновской физики к Декарту, и потому великое значение новых гальванических явлений скорее чувствовалось инстинктивно, чем воспринималось сознательно.

Однако, как бы ни было велико впечатление, созданное магнитным действием тока, последнее, в сущности, не было совершенно неожиданным. Уже задолго до этого знали, что сильные электрические искры, например молния, могут намагнитить стальные иглы, размагнитить магнитные стрелки или даже изменить полярность последних³. Правда, Марум⁴ относил этого рода намагничивание за счет земного

¹ Fechner, Atomenlehre, 2. Aufl., стр. 30.

² „Phil. Mag.“ (3), II, стр. 112 и 207, 1832; „Pogg. Ann.“, XXVIII, стр. 91 и 104, 1833.

³ G. Wiedemann, Die Lehre von der Electricität, Braunschweig 1833, III, стр. 92: „Намагничивание и изменение магнитности под влиянием электрического тока было впервые замечено на корабельных компасах при молниях „(Philosophical Transactions“, abridged, II, стр. 309, 1676), а также на стальных предметах (там же abridged, VIII, стр. 25, 1732).

⁴ Beschreibung einer vorzüglich grossen Elektrisirmaschine, Leipzig 1786.

РАННИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА 189

магнетизма, действие которого якобы усиливается только от электрических сотрясаний, и тем как будто разрешил эту загадку; однако другие более смелые и более склонные к умственной спекуляции физики пытались обосновать тождество электричества и магнетизма ввиду сходства электрических и магнитных притяжений и отталкиваний. Риттер, например, прямо утверждает, что всякий вольтов столб является магнитом и что даже всякая игла, спаянная только из цинка и серебра, есть магнитная игла. Прехтль ¹, с целью изучить возможные магнитные действия вольтова столба, подвесил его в 1808 г. на шелковых шнурах; он высказал в 1810 г. следующее положение: «Таким образом, в природе все явления представляются либо как притягательное, либо как химическое действие электричества. К категории первых относятся все явления сцепления, кристаллизации, обычные электрические явления, сила тяжести и магнетизм; к категории вторых относятся все явления, с которыми имеет дело химия, *так что, в сущности, магнетизм и химизм являются главными ветвями общей науки, электрицизма*» ².

Однако подобные предвзятые мнения, лишенные достаточной фактической подкладки, не могли привлечь к себе физиков, склоняя их скорее даже на противоположную сторону. Но вслед за открытием электромагнетизма Эрстедом это отношение тотчас же резко изменилось. Уже в том же 1820 г. указали на два сочинения 1804 г., в которых будто уже заключалось наблюдение электромагнитного действия ³. Альдини в своем «*Traité sur le galvanisme (Paris 1804)*» («Трактат о гальванизме») говорит о Можоне ⁴: «Поместив горизонтально очень тонкие швейные иглы, длиною в 2 дюйма каждая, он присоединил их обоими концами к чашечному прибору (гальваническая батарея), состоявшему из 100 стаканов. По истечении 20 дней он вынул иглы, немного окислившись, но в то же время намагниченные, с ясно выраженной полярностью». Дальше он продолжает о Романьози ⁵: «Это новое свойство гальванизма было установлено триентским физиком Романьози, *который открыл, что гальванизм отклоняет намагниченную*

¹ Johann Joseph Prechtl (1778—1854 гг., директор Политехнического института в Вене), „Gilbert's Ann.", LXVII, стр. 81.

² „Gilbert's Ann.", XXXV, стр. 43, 1810. Весь мюнхенский кружок Шеллинга в это время много говорил о животном магнетизме и о тождестве магнетизма с электричеством. В журнале Гелена (член Мюнхенской академии) было помещено много статей по этому вопросу. Так, например, Швейггер (VII, 1808) утверждает: „Магнетизм и электричество суть лишь видоизменения одной и той же силы". Тем не менее, тот же Швейггер в 1820 г. отзывается с величайшим восторгом об открытии Эрстеда. Это, впрочем, не помешало неизвестному автору в 1873 г. („Ztschr. f. Math, und Physik", XVIII, стр. 609) объявить Швейггера истинным пионером электромагнетизма на том основании, что в указанной выше статье Швейггер предложил в весах Кулона для измерения электричества заменить кручение нити направляющей силой земного магнетизма, а именно, висящий на нити стержень заменить изолированной компасной иглой с медными шариками на концах.

³ *Configliacchi*, „Giornale di Fisica", 1820; „Gilbert's Ann.", LXVIII, стр. 208, 1821.

⁴ Giuseppe Mojon (1772—1836), профессор химии в Генуе.

⁵ Gian Domenico Romagnosi (1761—1835) до 1802 г. адвокат в Триенте, потом — профессор в Парме и Пизе, с 1817 г. — частное лицо в Милане.

190 РАННИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

иглу». Аналогично высказался Изарн в своем «Manuel du galvanisme» (Paris 1804) («Руководство по гальванизму»): «Согласно наблюдениям триестского физика Романьози, намагниченная игла, будучи подвергнута действию гальванического тока, испытывает отклонение, а согласно наблюдениям известного генуэзского химика Можона, намагниченные иглы получают этим путем некоторый вид магнитной полярности». Однако подавляющее большинство держалось того мнения, что, как это высказал, например, Мунке в «Физическом словаре Гелера» (III, стр. 475, 1827), приписывать открытие электромагнетизма не Эрстеду, а упомянутым двум лицам, не следует, *«так как они не сознавали важности своего открытия, не поняли его и не сумели оценить»*. Уже после того, как совершенно освоились и привыкли к электрическим явлениям, стали считать, что отмеченные выше догадки о влиянии электричества на магнитную иглу заключают уже в себе открытие электромагнетизма. В 1859 г. ¹ Зантедески приписал честь этого открытия Романьози и вообще итальянцам, а И. Гамель ² считает весьма вероятным, что Эрстед, будучи в Париже, ознакомился с приведенными опытами, и потому прямо обвиняет его в умолчании. Однако из самой работы Романьози, как она была изложена Зантедески, ясно видно, что наблюдения первого стоят совершенно на одном уровне с известными уже в то время действиями электричества на магниты. В датированной 3 августа 1802 г. статье, в которой описаны наблюдения Романьози, мы читаем ³: «... построив вольтов столб, он прикрепил к нему серебряную проволоку, состоявшую из нескольких колен, соединенных между собою, как звенья цепи. Последнее колено этой цепи проходило через стеклянную трубку, на наружном конце которой тоже имелась серебряная пуговка. Затем он взял обыкновенную магнитную иглу, вроде корабельного компаса, заключенную в четырехугольном деревянном ящике, и, сняв стеклянную крышку ящика, поставил последний на стеклянный изолятор... После этого, взяв в руки стеклянную трубку с последним коленом, он быстро прикоснулся концом или пуговкой к магнитной игле, и последняя благодаря прикосновению в течение нескольких секунд отклонилась на несколько градусов от магнитного направления. Когда серебряная цепь была отнята, *игла осталась в отклоненном положении...* Прикасаясь снова цепью, он *заставлял иглу все сильнее и сильнее отклоняться от магнитного меридиана; таким образом он достиг того, что стрелка оставалась в одном и том же положении...*, так что полярность ее оказалась совершенно бессильной. Чтобы восстановить полярность..., он зажал большим и указательным пальцем обеих рук конец изолированной деревянной коробки и, стараясь ее не колебать, подержал ее несколько секунд в этом положении, тогда стрелка медленно двинулась назад, приобретая снова свою полярность, однако, не сразу, а в несколько толчков» ⁴.

¹ L'elettro-magnetismo rivendicato a G. D. Romagnosi ed all'Italia, Trento 1859

² „Bull. de l'Acad. Imp. de St. Petersburg", II, стр. 116 и сл., 1860.

³ Erlenmeyer u. Lewinstein, „Krit. Ztschr. f. Chemie", II, стр. 242 и сл., 1859.

⁴ Романьози оставил за собою право описать подробно свои открытия в особой работе, по последняя никогда не увидела света. Возможно, что этому поме-

РАБОТЫ ЭРСТЕДА ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ 191

Если бы это *наблюдение постоянного отклонения иголки*, говорит Гамель, было именно тем самым, что с 1820 г. считается открытием Эрстеда, и если бы оно действительно было известно Эрстеду, то последний был бы не только обманщиком, но и очень медлительным и неловким плагиатором ¹. Он должен был бы знать электромагнетизм, по крайней мере, с 1804 г., а, между тем, в 1812 г. в своем «*Ansicht der chemischen Naturgesetze*» (Berlin 1812) («Взгляд на химические законы природы») он говорит о тождестве электричества и магнетизма, *не приводя в доказательство ни единого опыта*. Наконец, в 1820 г. он выступает с этой уже старой историей и не только сообщает свое открытие в *неудобной и нецелесообразной* форме, но потом, когда все стали приписывать его открытие случаю, старается всячески доказать, что он уже давно, хотя и безуспешно, работал над ним. При всей моей готовности воздать должное заслугам Романьози, я в приведенных выше фактах не могу найти какого бы то ни было основания приписывать Эрстеду столь отвратительную роль ².

По словам самого Эрстеда, *удачные опыты* ему удалось произвести *лишь весной 1820 г. во время своих лекций об электричестве, гальванизме и магнетизме*. Результаты этих опытов были им опубликованы в маленьком мемуаре «*Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in Acum magneticam*» (Hafniae, 21 Juli 1820) («Опыты по влиянию электрического тока на магнитную иглу») ³, который был им разослан во все известные ученые общества, физикам и в редакции физических журналов. В нем сообщается, что гальванический ток, идущий под свободно подвешенной магнитной иглой с севера на юг, отклоняет эту иглу на восток; а проходя в том же направлении над нею, он от-

шало получение Романьози кафедры публичного права в Падуе (1802 г.); но, может быть, ему не удалось продвинуть дальше своего открытия, и он отказался от первоначального намерения; во всяком случае, во времени и досуге для продолжения работы у него недостатка не было.

¹ Слова Гамеля позволяют думать, что об открытиях Романьози он знал только по кратким сообщениям Альдини и Изарна и потому судил о них неверно. Иначе он не мог бы сказать: „Открытие Романьози, так сказать, повторенное Эрстедом“, и еще меньше утверждать, будто основой магнитного телеграфа послужили открытия Романьози и Швейггера.

² Hans Christian Oersted родился 14 августа 1777 г. в Рудкиоббинге, умер 9 марта 1851 г. в Копенгагене, учился с 1794 г. в Копенгагенском университете и в 1799 г. стал адъюнктом по кафедре фармацевтики на медицинском факультете. В 1801—1803 гг. объездил Германию, Голландию и Францию, читал по возвращении в Копенгаген лекции по химии и физике и стал профессором физики в 1806 г. С 1812 по 1813 г. предпринял второе научное путешествие, во время которого издал в Берлине работу „*Ansicht über die chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen*“ („Взгляд на химические законы природы, вытекающий из новых открытий“), а в Париже, вместе с Марсель де-Серр, перевод того же трактата под заглавием „*Recherches sur l'identité des forces électriques et chimiques*“. Возвратясь из путешествия по Англии (1822—1823 гг.), он основал в Дании Общество распространения естествознания, которое устраивало лекции в различных городах. В 1829 г. стал директором Политехнической школы в Копенгагене. Незадолго до смерти издал сочинение, имевшее большой успех, „*Der Geist in der Natur*“ (München 1850).

³ Дословно напечатано в „*Schweigger's Journ. der Chemie und Physik*“, XXIX, стр. 275—281, 1820; переведено на немецкий язык в „*Gilbert's Ann.*“, LXVI, стр. 295, 1820.

192 РАБОТЫ ЭРСТЕДА ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

клоняет ее на запад. Когда ток неизменного направления проходил в плоскости колебаний иглы, то замечалось лишь незначительное колебание полюсов вверх и вниз; когда же направление тока было перпендикулярно к плоскости колебаний, то никакого действия не было. Замечательно, что, по мнению Эрстеда, магнетизирующее действие тока проявлялось только при *накаливании проводящих проволок*, поэтому он считал необходимым употреблять в этих случаях или большие столбы, или большое число гальванических пар.

Вероятно, это и было причиной, почему вслед за опубликованием этого открытия сначала наступил небольшой перерыв, а затем полился целый поток новых работ. Так, Мунке полагал, что приступать к опытам нельзя, пока не будет устроен сильный столб, и он устроил его в 106 пар; однако потом, разбирая его по частям, он убедился, что отклонение стрелки можно получить от пяти пар и даже от одной.

Первым физиком, подтвердившим открытие Эрстеда, был И. Т. Майер ¹, следующим был де-ла-Рив, повторивший опыты Эрстеда на собрании натуралистов в Женеве. Затем наступил потоп. Как во всех вообще случаях, когда новое явление легко воспроизводится и наблюдается, открытие Эрстеда вызвало огромный интерес со стороны самых широких кругов. Всякий, кто только был в состоянии достать и наладить элемент и буссоль, старался проделать опыт по отклонению стрелки током. Частью под влиянием этого всеобщего возбуждения, частью вследствие осознанной важности данного открытия, и работы настоящих ученых начали следовать друг за другом почти с небывалой скоростью.

Эрстед сам установил в том же году ², что с увеличением числа пар в столбе эффект мало усиливается, а зависит он преимущественно от величины пластин; кроме того, он убедился, что накаливание проводников при этом не обязательно. Далее, подвесив свободно на нити ящичный элемент, он доказал, что магнит способен в свою очередь отклонять ток.

Араго, видевший опыты де-ла-Рива в Женеве, уже в сентябре 1820 г. ³, показал, что проводники тока притягивают железные опилки, как магнит, а в ноябре того же года Буажиро наблюдал притяжение плавающей на воде магнитной иглы проводниками тока. Для усиления действия слабых токов на магнитную иглу, Швейггер ⁴ изобрел в сентябре 1820 г. мультипликатор ⁵, а Поггендорф вскоре дал ему форму,

¹ „Göttinger Gelehrte Anzeigen“, № 171, 1820.

² Schweigger's Journ., XXIX, стр. 364. Ср. Hoppe, Geschichte der Elektricität, стр. 197—199, 1884.

³ „Annales de chimie et de physique“, XV, 1820.

⁴ Johann Salomo Christoph Schweigger родился 8 апреля 1779 г. в Эрлангене, умер 6 сентября 1857 г. в Галле, — приват-доцент в Эрлангене, — профессор математики и физики в Байрейтской гимназии, потом в Высшей реальной школе Нюрнберга, — профессор физики и химии в Эрлангене и с 1819 г. — в Галле. Издавал с 1811 по 1828 гг. „Journal für Chemie und Physik“, с I до LIV частью один, частью с Мейнке и своим приемным сыном, Францем Вильгельмом Швейггер-Зейделем. Последний продолжал издание до тома LXIX, 1833.

⁵ „Schweigger's Journ.“, XXXI, стр. 12 и сл., 1821.

ЗАКОН БИО И САВАРА. АМПЕР 193

применяемую и поныне ¹. Для изоляции отдельных оборотов Швейгтер сначала употреблял сургуч или воск, но затем, ввиду хрупкости подобной оболочки, проволоку стали обвивать шелком. И. Гамель («Bull. l'Acad. Imp. de St. Petersburg», II, стр. 103—105, 1860) утверждает, что шелковую обмотку впервые начал применять С. Т. Земмеринг еще до 1810 г. на своих телеграфных проводах.

Математический закон действия гальванического тока на магнит был впервые определен опытным путем Био и Саваром ². Они нашли: если неограниченной длины провод с проходящим по нему вольтовым током действует на частицу северного или южного магнетизма, находящуюся на известном расстоянии от середины провода, то равнодействующая всех сил, исходящих из провода, направлена перпендикулярно к кратчайшему расстоянию частицы от провода, и общее действие провода на любой — южный или северный — магнитный элемент обратно пропорционально расстоянию последнего от провода. Отсюда Лаплас вывел, что и эти действия, подобно тяготению, убывают обратно пропорционально квадрату расстояния.

Но оригинальнее, гениальнее и плодотворнее всех физиков, не исключая и самого Эрстеда, разработал эту новую, лишь слегка затронутую область Ампер. Работы свои он начал докладывать во Французской академии с 18 сентября 1820 г. ³. Действие тока на магнитную стрелку зависит от его направления; для определения этой зависимости Ампер ⁴ дал известное *правило пловца*, которое тотчас же и

¹ „Gilbert's Ann.", LXVII, стр. 422, 1821.

Johnn Christian Poggendorff родился 29 декабря 1796 г. в Гамбурге, умер 24 января 1877 г. в Берлине, был в 1812 г. аптекарским учеником в Гамбурге, учился в 1820 г. в Берлине и по поручению академии занимался в 1823 г. метеорологическими работами. По смерти Гильберта в 1821 г. стал редактировать его журнал: „Annalen der Physik"; под его именем вышло 160 томов. С 1834 г.— профессор университета, с 1839 г.— член академии.

² „Annales de chimie et de physique", XV, 1820. Biot, Lehrbuch der experimental Physik, III, стр. 136. Доложено Парижской академии 30 октября 1820 г.

³ Они появились в „Mém. de l'Acad." de Paris, VI, 1823; но еще ранее в „Annales de chimie et de physique", XV, XVI, XX, XXII и, далее, XXVI, XXVII, XXIX, XXX; также в „Gilbert's Ann.", LXVII и сл.; наконец, в отдельных маленьких брошюрах: „Описание новейших открытий по электричеству и магнетизму Ампера и Бабини", перевод на немецкий язык, Leipzig 1822 и т. д. Подробный отчет также в учебнике Био, III, стр. 197—218.

⁴ André Marie Ampère родился в 1775 г. в Лионе, но вскоре затем его родители, ликвидировав свое дело, переселились в свое маленькое поместье близ Лиона. Здесь мальчик, почти предоставленный самому себе, пытаясь утолить жажду знания изучением большого словаря д'Аламбера и Дидро, одолел основательно все 20 томов его.

Казнь отца, аристократа, на целый год повергла его в душевную апатию, из которой его вывели преимущественно ботаника и изучение латинских писателей. Для добывания средств к существованию он начал с 1796 г. давать частные уроки математики в Лионе и одновременно в свободные часы изучал химию Лавуазье. В декабре 1807 г. он получил место профессора физики в Бургской центральной школе и вскоре затем репетитора и (позднее) профессора в Парижской политехнической школе, С 1800 по 1820 г, когда начались его работы по электричеству, он много занимался математикой, а именно: теорией вероятностей, вариационным исчислением и т. п. Ампер умер 10 июня 1836 г. на пути в Марсель. Араго в биографии Ампера (Werke, II, стр. 3), признавая за ним гениальность, очень распространяется о его рассеянности, наклонности к край-

194 РАБОТЫ АМПЕРА ПО ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ

было принято физиками вместо неудобного правила Эрстеда. Не довольствуясь одним установлением фактов, Ампер *стремился найти внутреннюю связь между новыми явлениями и теми, которые уже ранее были известны*. Электричество от трения действует притягательно и отталкивательно на всякое вещество, потому что оно вызывает в нем электричество; не свойственно ли подобное действие и электрическим токам? По-видимому, из этой именно совершенно новой точки зрения и исходил Ампер, приступая к своим исследованиям; и уже 18 сентября 1820 г. он сообщает, что *гальванические токи, имеющие одинаковое направление, взаимно притягиваются, а противоположно направленные отталкиваются*. Этим, конечно, сходство между действиями покоящегося и текущего электричества усиливалось, но, с другой стороны, выявилось существенное различие: в первом случае одноименности соответствовало отталкивание, а здесь, наоборот, притяжение. Далее, Ампер считает целесообразным совершенно отделить друг от друга эти две области электричества, обозначив их различными названиями: электростатика и электродинамика ¹. Для наблюдения взаимного действия гальванических токов Ампер устроил много *новых приборов*. Уже в первом своем сообщении 1820 г. он описал проволочные прямоугольники и кольца с концами, погружающимися в чашечки с ртутью для подведения тока, равно как и штатив (за которым сохранилось его имя) для чашек с ртутью; последний, впрочем, тогда еще в неудобной форме. Тогда же для усиления действия он вместо применения одного кругового провода стал свивать провод в спираль — форму, которую в своей работе 1822 г. Ампер назвал соленоидом, а в Германии называли *электродинамическим винтом*. Эти весьма подвижные приборы Ампера обнаруживали не только взаимное действие токов, но и полное взаимодействие между токами и магнитами. Подобно тому как магнитная игла отклоняется током, так же и проволочные прямоугольники отклоняются магнитом, и в обоих случаях, как в опытах Эрстеда, выявляется *поперечность направления действующих сил* ². Проволочные треугольники двигались подобно магнитам,

ностям, о его фантастических идеях и особенной манере держать себя в обществе. Потомство же давно признало за ним гениальность, а мелочи забыло гораздо скорее, чем его товарищ по академии. Да притом многое из якобы фантастических взглядов Ампера оказалось впоследствии более реальным, чем полагал Араго. Так, на защиту им Жоффруа Сент-Илера и теории развития организмов против воззрений Кювье теперь смотрят совершенно иначе, чем во времена Араго.

¹ Exp. relat. á de nouveaux phénomènes électrodynamiques, „Annales de chimie et de physique", XX, стр. 60, 1822. „Наименование электромагнитные, которое было дано явлениям, вызываемым проводниками вольты столба, представлялось удовлетворительным только в ту эпоху, когда были известны лишь явления, открытые Эрстедом между электрическим током и магнитом. Я считал необходимым применить название *электродинамические* для объединения под одним общим именем всех этих явлений и, особенно, для обозначения тех явлений, которые я наблюдал между двумя проводниками тока".

² В опытах Эрстеда полная поперечность действий не выявлялась совершенно ясно, так как он еще не устранил действия земного магнетизма. Ампер достиг этого в 1820 г. тем, что укрепил магнитную иглу на оси, совпадавшей по своему направлению с магнитной осью Земли. Био и Савар в своих опытах 1820 г. компенсировали магнитное действие Земли при помощи магнита, положен-

МАГНИТНАЯ И ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ 195

оси которых перпендикулярны к плоскостям прямоугольников, а *соленоиды совершенно уподоблялись искусственным магнитам*: их продольная ось (перпендикулярная к направлению тока) совпадала с осью магнита. Отсюда Ампер заключил, что чудовищное представление о Земле, как о цельном постоянном магните из стали или магнитной руды, можно заменить представлением о соленоиде, т. е. считать, что Землю обегает гальванический ток, имеющий направление с востока на запад. Вместе с тем было совершенно устранено и представление об особых магнитных жидкостях или силах: *каждый магнит является естественным соленоидом, состоящим из индифферентного железного ядра, которое проявляет магнитное действие лишь благодаря обтекающим его токам*, или же (так как уже давно ощущалась необходимость смотреть на магнит, как на нечто составленное из элементарных магнитов) *каждый магнит является немагнитным металлом, все частицы которого обтекаются гальваническими токами одного и того же направления*.

Но тогда сейчас же встал новый вопрос: *возникают ли молекулярные токи в металлах только при намагничивании, или же они всегда имеются в металлах, способных к намагничиванию?* Сначала Ампер склонялся в пользу первого предположения, но вскоре признал возможность и второго. С последней точки зрения выходило, что в ненамагниченном железе, никеле или кобальте молекулярные токи имеют различное направление, и потому их действия во вне взаимно уничтожаются; и, далее, что намагничивание названных металлов заключается именно в том, что всем молекулярным токам сообщается параллельное направление ¹. Позднее Ампер уже не касался более этого вопроса, так как, по словам Мунке ², он не считал возможным остановиться на той или другой точке зрения, ввиду полной пока невыясненности сущности электричества.

Возможно, впрочем, что последнее находилось в некоторой связи с холодным приемом, который был оказан другим опытам Ампера, опубликованным им около этого же времени. Если в немагнитном железе нет электрических токов и они возникают лишь при намагничивании, то намагничивание гальваническими токами, несомненно, доказывает, что последние способны вызывать другие гальванические токи в соседних проводниках или, по крайней мере, в ближайшем железе. Таким образом *магнитная индукция является прямым доказательством гальванической индукции, а выявление последней, наоборот, доказывает правильность первого воззрения Ампера на процесс намагничивания*, 4 сентября 1822 г. Ампер сообщил Парижской акаде-

ного под иглу. В 1821 г. Ампер устроил свою астатическую пару, укрепив на общей медной оси две магнитные иглы параллельно друг другу с полюсами, обращенными в противоположные стороны (Description d'un appareil électrodynamique, „Annales de chimie et. de physique", 1821). *Нобили соединил в 1825 г. астатическую иглу Ампера с мультипликатором и устроил таким образом самый чувствительный гальванометр* (Biblioth. univers., XXIX. стр. 119, 1825, перевод на немецкий язык в „Schweigger's Journ.", XLV стр. 249, 1825).

¹ Recueil d'observation électrodynamique, Paris 1822. Ср. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität, стр. 230.

² Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., III, стр. 614.

196 ЗАКОН ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОТОКОВ

мии ¹, что когда он подвесил на нити замкнутую в кольцо полоску меди внутри кольцеобразного проводника тока, то заметил, что медное кольцо притягивалось или отталкивалось приближенным к нему подковообразным магнитом, в зависимости от направления тока. Отсюда Ампер пришел к выводу, что электрический ток, проходя близ тел, способных проводить токи, возбуждает в них электричество. Современные ему физики, однако, совершенно не соглашались с этим выводом. Мунке ² считал весьма вероятным, что в опыт Ампера вкралась ошибка и что в данном случае с медным проводом получились те же явления, какое наблюдал и он, Мунке, при повторении этого опыта с латунным проводом, содержащим в себе небольшую примесь железа; можно, следовательно, полагать, что наблюденное Ампером явление было вызвано не электрическими токами, а именно примесью железа в медной полосе. На этом Ампер остановился в области эксперимента и занялся преимущественно математической теорией электродинамики ³. Он допустил, что взаимодействие двух элементов тока прямо пропорционально их длинам ds и ds' и силам токов i и i' и обратно пропорционально некоторой степени (r^n) линии, соединяющей их центры; далее, что электродинамическое действие происходит по направлению указанной линии и, подобно действию всяких сил вообще, может складываться и разлагаться по закону параллелограмма сил. Путем такого разложения, он для действия двух элементов ds и ds' , пересекающих линию их соединения r под углом θ и θ_1 и образующих с нею плоскости, пересекающиеся под углом η , получил следующую формулу:

$$I = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^n} (K \cos \theta \cos \theta_1 + \sin \theta \sin \theta_1 \cos \eta)$$

или, если обозначить через ϵ угол между самими элементами:

$$I = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^n} [\cos \epsilon - (K - 1) \cos \theta \cos \theta_1].$$

Особыми опытами над действием замкнутых круговых токов друг на друга и на элементы токов Ампер определил неизвестные постоянные $n = 2$ и $K = -\frac{1}{2}$, откуда получилось:

$$I = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^2} (\cos \epsilon - \frac{3}{2} \cos \theta \cos \theta_1)^4.$$

¹ Recueil d'observ. électrodynam., Paris 1822. Albrecht, Geschichte der Elektrizität, стр. 220

² Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., II. стр. 593.

³ Théorie des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience, Mém. de l'Acad. VI, 1823, вышло в 1827 г.

⁴ Первую общую формулу с отношением $K = (1 - n)/2$ Ампер сообщил Парижской академии уже 10 июня 1822 г. „Annales de chimie et de physique“, XX, стр. 398, 1822.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕОРИЯ ФАРАДЕЯ 197

Эта формула до настоящего времени составляет основу математической теории электродинамики, и вообще вся теория магнетизма и электромагнетизма до сих пор разрабатывается в направлении, данном Ампером. Свидетельством этого могут послужить слова Максвелла в его знаменитом «A Treatise on Electricity and Magnetism» (Oxford 1873, 2-е изд. 1881; переведено на немецкий язык под заглавием «Lehrbuch der Elektrizität» 1883, II, стр. 216): *«Исследования Ампера, в которых он установил законы механического взаимодействия электрических токов, принадлежат к числу самых блестящих работ, которые были проведены когда-либо в науке. Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы «Ньютона электричества». Его сочинение («Théorie de Phénomènes») совершенно по своей форме недостижимо по точности выражения и, в конечном счете, приводит к одной формуле, из которой можно вывести все явления, представляемые, электричеством, и которая навсегда останется основной формулой электродинамики».*

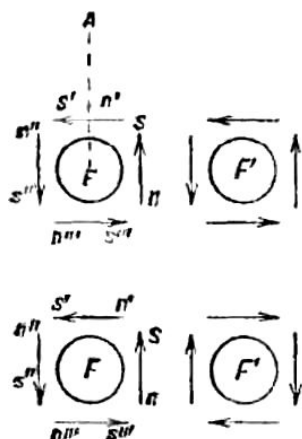
Несмотря на это, казалось, по крайней мере, вначале, как будто другие теории электромагнетизма и электродинамики, в которых недостатка не было, имеют лучшие виды, чем теория Ампера. Эрстед и Фарадей еще раньше Ампера разработали подобные, хотя и менее совершенные теории. Эрстед уже в первом своем сочинении 1820 г. и полнее в «Schweigger's Journ.» (XXXII и XXXIII) выразил мысль, что оба рода электричества при передвижении по проводникам в противоположных направлениях должны закручиваться вихрями друг вокруг друга, распространяясь, таким образом, по винтовым линиям. Так как при этом положительное электричество должно было отталкивать южный полюс, а отрицательное северный, то и получилось простое объяснение основного электромагнитного явления, для поперечного направления стрелки по отношению к току. Фарадей нашел ¹, что подвижной проводник тока приводится неподвижным магнитом во вращательное движение, направление которого зависит от направления тока и от полярности магнита. Соответственно этому он принял для объяснения основного электромагнитного явления, что магнитные и электрические жидкости вращаются около проводников. Но с этим нельзя было далеко уйти, а вскоре было показано, что все наблюдаемые Фарадеем разнообразные случаи вращения очень хорошо могут быть объяснены и теорией Ампера.

Вообще, нерасположение физиков к теориям Ампера обуславливалось главным образом тем, что эти теории устраняли магнитные жидкости. Например, Био, отличавшийся очень тонким чутьем ко всему, что угрожало господствующим системам физики, основным физическим воззрениям, укоряет в своем учебнике (III, стр. 194) Ампера за то, что тот все явления взаимодействия магнитных тел сводит на электрические токи, окружающие частицы металла чуть не наподобие декартовых вихрей, в результате чего будто бы создается такая путаница положений и допущений, что гипотезу Ампера почти невозможно

¹ „Quarterly Journal of Science“, XII, 1822, сообщение от 11 сентября 1821, также „Gilbert's Ann.“, XXI, 124, 1822.

198 БОРЬБА ПРОТИВ ТЕОРИИ АМПЕРА

представить. Био остается при своем убеждении, что и электромагнитные действия являются *чисто* магнитными, что медная проволока, под влиянием проходящего по ней тока, становится магнитом. Мунке ¹ (Cehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., III, стр. 643 и сл.) полагает, что это можно себе наглядно представить следующим образом: электричество течет по проводнику не сплошь, а толчками, которые в гальваническом электричестве выражены всего резче, так что они даже ощущаются нашими нервами в виде своеобразного зуда. Каждая достаточно сильная волна разъединяет в проводнике и поблизости от него имеющийся там нейтральный магнетизм на его полярные составные части, так что северная магнитная жидкость накапливается на одном конце проводника, а южная — на другом. Как бы там ни было, но так как магнетизм гальванического тока действует поперечно по отношению к направлению последнего, то Био полагает, что разъединение магнитных жидкостей происходит в каждом поперечном сечении проводника и притом таким образом, что каждое сечение действует на внешнюю магнитную частицу так, как если бы касательные к поперечному сечению состояли сплошь из магнитных игл. Отсюда он затем вывел также и электродинамические притяжения и отталкивания токов. Представим себе вокруг поперечного сечения тока четыре таких касательных иглы; тогда для поперечного сечения тока того же направления фигура останется та же, а для тока противоположного направления фигура тоже изменит свое положение на обратное. Из приведенных здесь чертежей (черт. 7), взятых из учебника Био (ч. III, табл. XI), ясно видно, что первые токи должны притягиваться, а вторые отталкиваться. Био до такой степени уверен в правильности своего объяснения и несостоятельности гипотезы Ампера, что в заключении соответствующей главы говорит: *«Когда физики, в чем я уверен, вскоре оставят различные гипотезы, построенные для объяснения электромагнетизма, и вернуться к столь простому воззрению молекулярного намагничивания, то мне, я надеюсь, будет отдана справедливость, что я никогда не рассматривал этого обширного класса явления с иной точки зрения»*. Тем не менее, теория поперечного магнетизма все-таки тоже представляла для физиков большие трудности. Г. Г. Шмидт ² полагал, что магнетизм на сечении проводника распределяется таким образом, что на одной половине сечения собирается северный магнетизм, а на другой — южный. Фон-Альтгауз ³ высказал предположение, что под влиянием тока в сечении проводника образуются четыре магнитных полюса, причем одноименные лежат друг



Черт. 7.

¹ Georg Wilhelm Muncke (1772—1847) с 1817 г. — профессор физики в Гейдельберге.

² „Gilbert's Ann.", LXXI, стр. 394, 1822.

³ Versuche über den Elektromagnetismus, Heidelberg 1821.

против друга. И. Прехтель¹ принимал, что каждая сторона окружности сечения становится полярной. Зеебек², а затем и Г. П. Поль³ утверждали, что в каждой точке поперечного сечения имеются и северный и южный магнетизм, причем оба они прошли через эту точку, но только в различных направлениях. Однако эта *круговая полярность* (так ее называет Поль) приводила, в сущности, к амперовским спиральным токам, следовательно, не зачем было удерживать одновременно и магнитные и электрические токи. Поэтому в дальнейшем ограничились одними электрическими токами и остались при теории Ампера, которая, в конце концов, оказалась в состоянии объяснить все наблюдаемые явления, хотя она и предъявляет большие требования к созерцательным и познавательным способностям.

Мысль, что все проводники электричества содержат в себе магнетизм, хотя бы в нейтральном состоянии, и поэтому способны при известных условиях намагничиваться, выплыла еще раз по другому поводу в очень интересной форме, отдалив тем самым время открытия гальванической индукции. В ноябре 1824 г. Араго доложил Французской академии⁴ опыты, в которых наблюдалось значительное замедление качаний свободно подвешенной магнитной стрелки, когда под нее подводились пластинки или кольца из меди или других металлов. В следующем году 7 марта он описал противоположные по своему эффекту и еще более поразительные опыты⁵, именно отклонение магнитной стрелки или даже круговое вращение ее, когда металлическая пластинка над ней или под ней приводилась в быстрое вращение; при этом движение стрелки по своему направлению совпадало с вращением пластинки. Физики, повторившие эти опыты, именно Зеебек, Нобили и др., тотчас же приняли их за доказательство того, что игла индуцирует магнетизм в металле. Но когда Араго заметил⁶, что магнитная игла, подвешенная к плечу весов и уравновешенная гирями, не притягивается вращающимся металлическим диском, а отталкивается им, то пришлось допустить в металлах *особый вид магнетизма*. Араго дал ему название *магнетизма вращения*, так как он проявляется только во вращающемся, а не в покоящемся металлическом диске. С этой последней точки зрения представлялась некоторая возможность объяснить и наблюдение Гершеля и Баббаджеса⁷, согласно которому диск с радиальными прорезами действует на магнитную стрелку гораздо слабее массивного.

Другой замечательный вид магнетизма, именно *термомагнетизм*, открыл Зеебек⁸ в 1821 г. Продумывая опыты Эрстеда, он напал на мысль, что магнетизм, возбуждаемый током, может быть получен и

¹ „Gilbert's Ann.", LXVIII, стр. 203, 1821.

² Abhandl. d. Berl. Akad., 1820—1821, стр. 289.

³ „Gilbert's Ann.", LXXIV, стр. 389—409, 1823.

⁴ „Annales de chimie et de physique", XXVII, стр. 363, 1824.

⁵ Там же, XXVIII, стр. 325, 1825.

⁶ Там же, XXXII, стр. 223, 1826. „Pogg. Ann", VII, стр. 385, 1826.

⁷ Philosophical Transactions, стр. 481, 1825.

⁸ Thomas Johann Seebeck родился 9 апреля 1770 г. в Ревеле, умер 10 декабря 1831 г. в Берлине, изучал медицину и долгое время прожил частным лицом в Йене, Вайрейте и Нюрнберге. С 1818 г. — член Берлинской академии.

200 ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО

в результате прямого соприкосновения двух металлов без посредства жидкого проводника, — мысль, которая могла быть также навеяна основным опытом Вольты образования контактного электричества при «сухом» соприкосновении двух пластинок¹. Положив друг на друга две пластинки из меди и висмута, он присоединил их к оборотам мультипликатора; при этом он заметил, что каждый раз, когда он прижимал рукой концы проволок мультипликатора к пластинкам, магнитная стрелка отклонялась на несколько градусов. При этом влажность руки не играла никакой роли, так как, нажимая на проволоки через мокрую бумагу, Зеебек вовсе не получал отклонений, тогда как продолжительное нажатие руками через стекло или металл тоже давало отклонение. Последнее обстоятельство навело Зеебека на счастливую мысль, что действующим агентом в данном случае является теплота руки, — *что разность температур в местах соприкосновения металлической цепи является источником освобождающегося магнетизма, причиной магнитных действий*². Находясь под влиянием господствовавших тогда представлений о совместном существовании в проволоке цепи электричества и магнетизма, Зеебек описал найденные им явления под названием *термомагнетизма*³. Понятно, что позднее, когда было открыто явление гальванической индукции и в связи с этим за теорией Ампера была признана окончательная победа, приведенное выше название было заменено более подходящим термином — *термоэлектричество*. Зеебеку удалось установить еще много других особенностей нового источника электричества. Подвергая места соприкосновения металлов *вместо нагревания охлаждению*, он получал такую же магнитную полярность. Далее, он заметил, что интенсивность *магнитной поляризации с повышением разности температур вообще возрастает, но не пропорционально этому повышению, что она зависит от свойства металлов, их природы и кристаллографического строения, что она усиливается с увеличением в цепи числа термомагнитных пар, но опять-таки не пропорционально этому числу*. И, наконец, Зеебек *объяснил и магнетизм Земли термомагнетизмом, получающимся вследствие нагревания вулканами сплошного пояса металлов и руд, опоясывающего Землю*. Первыми физиками, подтвердившими открытие Зеебека, были: Иелин⁴ (в Мюнхене), Эрстед и Фурье⁵ — двое последних стали повторять опыты Зеебека еще до опубликования работы Зеебека на основании устного сообщения о них. При этом они старались, главным образом, выяснить влияние увеличения числа зеебековских пар на количество получаемого электричества. Устроив для этой цели *термоэлектрический столб* (первый по времени), они нашли, что при очень ко-

¹ Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., VI, стр. 711.

² Там же, VI, стр. 712.

³ „Gilbert's Ann.", LXXIII, стр. 115, 430, 1823. Abhandl. der Akademie der Wissenschaft zu Berlin 1822—1823 (вышло в свет в 1825 г.), стр. 265—374. *Magnetische Polarisation der Metalle durch Temperaturdifferenz*.

⁴ „Gilbert's Ann.", LXXIII, стр. 415, 1823.

⁵ Oversigt over det kongelige Danske Videnskabskabernes Selskabs Forhandl., 1822 в 1823. „Ann. de chimie et de physique", XXII, стр. 375, 1823.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ПРЕВРАЩЕНИЕ ФОРМ 201

роткой длине проводника действие не усиливается, а при употреблении мультимпликатора оно усиливается в значительной степени. Отсюда им был сделан вывод, что в термоэлектрических элементах количество электричества больше, а напряжение меньше, чем в элементах Вольты. При опытах со своими столбами они заметили и химическое действие тока, по крайней мере, наблюдали разложение медных солей. Поэтому они предложили назвать эти явления термоэлектрическими. Зеебек еще спустя два года возражал в «Poggendorf's Annalen» (Bd. VI) против этой замены названий и предложил твердо придерживаться термина термомагнетизм. Между тем обыкновенная электрическая природа термостолбиков выяснялась постепенно все больше и больше, а в 1836 г. Антинори и Линари ¹ удалось даже получить электрическую искру при помощи батареи в 25 сурьмо-висмутовых элементов.

Таким образом, электричество само по себе все больше и больше наводило на мысль о превращении сил, т. е. о прямом переходе одной формы силы в другую, а не о простом возбуждении одной силы другой. Интересно, что при этом мысль о взаимности таких превращений не только оставалась неясной, но даже в некоторых отдельных случаях она бралась под сомнение. Зеебек показал, что электрические токи могут быть получены как при повышении, так и при понижении температуры, однако только 13 лет спустя Пельтье ² показал, что, и обратно, электрическим током можно вызывать, не только тепло, но и холод. Он выяснил в 1834 г. ³, что тепло, развиваемое током в проводниках, в однородных частях последних бывает распределено равномерно, а на концах этих частей оно зависит от свойств соприкасающихся частей. Если ток проходит по стержню, составленному из сурьмы и меди, в направлении от первого металла ко второму, то в спае этих металлов наблюдается повышение температуры на 10°; при обратном же направлении тока наблюдается понижение на 5°. Когда ток шел от висмута к сурьме, то спай нагревался на 37°, при обратном направлении он охлаждался на 45° ⁴. Это явление Пельтье было вскоре подтверждено Ленцем ⁵, которому даже удалось этим путем заморозить воду. Законы этих явлений были разработаны Беккерелем, Квинтус-Ицилиусом и Франкенгеймом.

Чем подвижнее, однако, оказывался гальванизм по своей природе и чем разнообразнее становились его действия, тем настойчивее выдвигался и приобретал все большее значение вопрос о количественной стороне этих действий. В самом деле, те выражения наивного изумления по поводу изменения действия гальванических батарей при изме-

¹ „Poggendorf's Annalen“, XL, стр. 644, 1837.

² Jean Charles Anathase Peltier родился 22 февраля 1785 г. в Гаме, умер 27 октября 1845 г. в Париже, до 1815 г. был часовщиком в Париже, потом жил частным лицом, занимаясь научными исследованиями.

³ „Annales de chimie et de physique“, LVI, 1834; „Pogg. Ann.“, XLIII, стр. 324, 1838.

⁴ Эти направления токов, вероятно, вследствие опечатки показаны Пельтье неправильно („Pogg. Ann.“, XLIII, стр. 326).

⁵ „Pogg. Ann.“, XLIV, стр. 342, 1838.

202 РАЗВИТИЕ ЗАКОНА ОМА

нения числа, величины и расположения элементов, которые мы в то время встречаем еще у многих физиков, конечно, сами по себе оставались безрезультатными до тех пор, пока новые открытия в этой области захватывали исследователей врасплох. Однако более спокойные и смелые исследователи уже тогда должны были задаться вопросом о количественной стороне явлений и о количественных затратах гальванизма при его превращении в другие силы. Первым, занявшимся успешно этими вопросами, был Р. С. Ом¹, который, несомненно, значительно опередил общее настроение своих современников, а также состояние вспомогательной научной аппаратуры. Уже раньше было много раз замечено, что действие гальванической батареи зависит не только от нее самой, но и от *соединительной проволоки*, замыкающей цепь батареи. Дэви², изучая *химические действия* тока, уже заметил, что *металлическая проволока, замыкающая батарею, обладает сопротивлением прохождению тока; величина его зависит от качества металла, прямо пропорциональна длине проволоки и обратно пропорциональна ее поперечному сечению*³. Ом, подобно многим другим физикам того времени, занялся сначала тем же специальным вопросом и в 1825 г. дал ряд металлов по степени их проводимости⁴; но уже в следующем году он дал точную связь между электровозбуждающей силой, сопротивления и силой тока⁵. Уже в первой своей работе Ом заметил, что сила тока в гальванической цепи вскоре после ее замыкания падает до некоторого минимума, а затем после размыкания она до известной степени восстанавливается. Это непостоянство силы тока, конечно, мешало не только определению ее величины, но и определению влияющих на нее факторов, поэтому Ом охотно обратился, по совету Поггендорфа, к термоэлементу, дававшему, как показали опыты, ток постоянной силы. Его элемент состоял из висмутового стержня, впаянного между двумя медными проволоками. Окружив один спай льдом, а другой, держа в кипящей воде и замыкая цепь различными проводами, он пришел к формуле $X=a/(b+x)$ «где X обозначает силу магнит-

¹ Georg Simon Ohm (не смешивать с братом его Мартином Ом, известным математиком) родился 16 марта 1787 г. в Эрлангене и был последовательно учителем в Нидау, Невшателе, Бамберге, Кельне (1817—1826), в Берлинской военной школе (1826—1833) и в Нюрнбергской политехнической школе (1833—1849). В 1849 г. 62-летний ученый стал экстраординарным профессором в Мюнхене, а в 1852 г., за два года до смерти (7 июля 1854 г.), ординарным профессором.

² Philosophical Transactions, стр. 433, 1821; „Gilb. Ann." LXXI, стр. 252, 1822.

³ Исследования Дэви (их было два) в Philosophical Transactions, 1821, важны еще тем, что в них он снова излагает свои наблюдения над *гальванической световой дугой* и особенно описывает *отталкивание ее магнитом*. Исследуя дальше электропроводность различных тел, он располагает металлы по их проводимости в следующий ряд: серебро, медь, свинец, золото, цинк, олово, платина, палладий, железо. Впрочем, некоторые работы в этом направлении были произведены уже в начале XIX века; на основании их, между прочим, Риттер со свойственной ему поспешностью сформулировал неверный закон, согласно которому электропроводность металлов находится в прямом отношении к их окисляемости (Gehler's physik, Wörterbuch, 2. Aufl., VI, стр. 155—185).

⁴ „Schweigger's Journ.", XLIV, стр. 110, 1825.

⁵ Там же, XL VI, стр. 137, 1826.

ного действия на проводниках, x — их длину, а величины a и b — постоянные, зависящие от возбуждающей силы и от сопротивления прочих частей цепи ¹. Спустя еще год Ом опубликовал свои исследования в сочинении «Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet von Dr. G. S. Ohm», Berlin 1827 («Гальваническая цепь, математически разработанная д-ром Г. С. Омом»), где его закон выведен также и теоретически. *Для этой цели Ом представляет себе электрический ток в виде действительного потока.* При таком воззрении действие его зависит от скорости течения; но в обыкновенном потоке последнее определяется наклоном русла, в электрическом же токе разностью напряжений на определенном участке, а именно на концах единицы длины. *Как в водяном токе, Ом обозначает эту разность напряжений словом «падение» (Gefälle).* Так как опыты показали, что сила тока в однородном проводнике везде одинакова, следовательно, то же должно иметь место и для падения; значит, эта последняя величина, при однородности замыкающей проволоки, пропорциональна разности напряжений в самой цепи, т. е. электродвижущей силе. Однако падение зависит не только от одной этой величины, но также от длины пути (проводника), по которому распределена вся разность напряжений, следовательно, оно *обратно пропорционально этой длине.* Таким образом сила тока i должна быть прямо пропорциональна электродвижущей силе e и обратно пропорциональна длине пути тока l ; следовательно, при надлежащем выборе единиц измерения, i будет равно отношению e/l . Но так как цель никогда не бывает повсюду однородной и в различных местах представляет различные сопротивления, то она и оказывает различное влияние на падение. *Но любое сопротивление может быть приравнено сопротивлению проволоки и заменено последним.* Это особенно необходимо по отношению к сопротивлению самого элемента. Если редуцированную таким образом величину сопротивления элемента обозначить через w , а величину сопротивления всей

внешней цепи — через I , то $i = e/(w + l)$. Из этой формулы Ом затем вывел не только замечательный закон действия гальванических батарей при различных внешних сопротивлениях, но и дал теорию мультипликатора ².

В Германии и в кругу иностранных физиков, находившихся в общении с немецкими учеными, работы Ома встретили очень хороший прием. Берцелиус говорит в 1828 г. ³: «Хотя некоторые из результатов Ома и скажутся, может быть, впоследствии не вполне удовлетворительными, тем не менее, попытка построить и здесь наши знания на такой же твердой почве, на какой стоят закон тяжести и движений, является большой заслугой». Фехнер в 1831 г. ⁴ полностью под-

¹ „Schweigger's Journ"., XLVI, стр. 151.

² Дальнейшее развитие и приложение своей теории Ом опубликовал в „Schweigger's Journ.", LV, стр. 1, 1829; LVIII, стр. 393, 1830 и дальше.

³ Jahresbericht über die Fortschritte d. Physik u. Chemie VII, стр. 15, 1828.

⁴ Maasbestimmungen über die galvanische Kette, Leipzig 1831. Repertorium der Physik, I, стр. 392—449, 1832.

204 ОТНОШЕНИЕ К РАБОТАМ ОМА

твердил законы Ома и показал некоторые дальнейшие теоретические и опытные их применения. *За границей же, в особенности в Англии и Франции, работы Ома долгое время оставались неизвестными или, по крайней мере, на них не обращали внимания.* Поггендорф в 1839 г.¹, показав, что многие выводы, касающиеся действия гальванических батарей, полученные опытным путем лишь с большим трудом, очень просто вытекают из закона Ома, продолжает: «Но так как эта теория, совершенно необходимая для ясного понимания действия электрических токов, долгое время даже у нас не была оценена по достоинству, а во Франции и в Англии была физикам почти что неизвестна поэтому-то там и было произведено множество опытов, оказавшихся совершенно бесполезными, либо потому, что результаты их можно было бы наперед предвидеть, либо потому, что при этом необходимые величины не были определены с достаточной тщательностью, вследствие чего из них нельзя было извлечь ясных результатов), то, пожалуй, не будет лишним показать полезность ее на каком-нибудь простом частном случае».

Правда, в это время во Франции Пулье², уже давно занимавшийся измерением проводимости металлов, установил и подтвердил при помощи устроенной им тангенс-буссоли тот же закон для гальванического тока, что и Ом; однако имени последнего он, к сожалению, не упомянул³. В связи с этой работой первенство открытия закона тока чуть было даже не присвоил Пулье. Между тем первое его сообщение Парижской академии по вопросу об этом законе было сделано только в октябре 1831 г. Да и Пулье сам признается⁴, что он до того читал работу Ома о гальванической цепи, по крайней мере, в извлечении⁵, и что Ом бесспорно еще до него в 1827 г. высказал мысль, что при измерении силы тока следует принимать во внимание сопротивление цепи, а также все иные виды сопротивления. Если же, несмотря на это, Пулье утверждал, что Ом развил свой закон только математически, а не экспериментально, и что ему (Пулье) первому принадлежит заслуга определения отношений между силами тока в отдельных частях цепи, соответственно степени их проводимости, то это значит, что он не достаточно внимательно ознакомился с работами Ома по

¹ „Pogg. Ann.", XLVII, стр. 123—131, 1839.

² Claude Servais Mathias Pouillet родился 16 февраля 1790 г. в Кюзансе, умер 14 июня 1868 г. в Эпине на Сене, был с 1819 г. заместителем Био по преподаванию физики в Faculté de Sciences, вскоре затем профессором прикладной физики в Conservatorium des Arts et Métiers, а с 1831 г. — директором этого учебного заведения. До Февральской революции состоял членом палаты и долгое время членом Королевского учебного совета. В 1849 г. он сложил с себя все должности и поселился в своем поместье в Эпине.

³ Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie de Sciences, IV, стр. 267, 1837; „Pogg. Ann.", XLII, стр. 281, 1837. В этой работе Пулье кроме тангенс-буссоли описывает еще и синус-буссоль. Поггендорф в 1840 г. усовершенствовал оба эти прибора („Pogg. Ann.", L, стр. 504, 1840 и LVII, стр. 86, 1842). По-видимому, первую идею этих приборов дал де-ла-Рив еще в 1842 г. (Albrecht, Geschichte der Elektrizität, стр. 214).

⁴ Pouillet, Réponse a la lettre de Mr. Péclet, Compt. rend., XX, стр. 199, 1845.

⁵ В Bulletin des sciences, издаваемом Ферюссак (Férussac).

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ 205

упомянутому им извлечению¹. Ому работа Пулье впоследствии принесла пользу в том отношении, что закон его стал известен и во Франции. В Англии Ч. Уитсон² придает в 1843 г. большое значение тому обстоятельству, что наконец-то столь долго господствовавшие туманные представления о количестве и напряженности уступили место определенным понятиям сил и сопротивлений, установленных Омом. Впрочем, Королевское общество еще в ноябре 1841 г., в признание заслуг Ома, наградило его медалью Коплея.

Из работ Пулье 1837 г. следует еще упомянуть о произведенном им определении *проводимости жидкостей* и особенно о его проекте введения *определенной единицы тока и сведения ее на химическую меру*. Пулье предложил в качестве единицы избрать ток термоэлектрического элемента из меди и висмута, с общим сопротивлением в цепи, соответствующим медной проволоке в 20 м длины и 1 мм толщины при температурах 100 и 0° С в спаях. Для разложения 1 г воды в 1 мин. потребовался бы ток в 13 787 единиц Пулье.

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ (приблизительно от 1820 до 1840 г.). До конца предшествующего периода область *тепловых* явлений оставалась целиком в руках *физиков-экспериментаторов*. С принятием невесомого вещества (теплорода) умозрения о сущности теплоты замолкли. Математикам эта невесомая, а потому и неуловимая, материя не давала никаких опор для научных разработок. Правда, для математики оставались еще открытыми явления движения тепла, его распространение и накопление в телах. И действительно, уже Ламберт в своей *пирометрии* дал несколько формул по этим вопросам; а Био³, который вообще старался применить к физике дедуктивный математический метод или, по крайней мере, открыть для всех частей физики путь к математическому измерению и к математическим законам, занялся в 1804 г. более углубленно и с большим успехом вопросом о распространении тепла. Однако честь полного завоевания этой новой области для математики принадлежит Фурье⁴, который в 1822 г.

¹ Cp. Fortschritte d. Physik im Jahre 1845. Dargestellt von der physikal. Gesellschaft in Berlin, стр. 443 и сл.

² An account of several new instruments and processes for determining the constants of a Volta Circuit, Philosophical Transactions, 1813. Здесь Уитстон описывает устроенный им и названный по его имени реостат. „Pogg. Ann.“, LXII, стр. 499. 1844.

³ Mém. sur la propagation de la chaleur, „Journ. d. Mines“, XVIII, Paris 1804. Sur la loi math. de la chaleur, Bull. de la Soc. philomath., 1804.

⁴ Jean Baptiste Joseph Fourier родился 21 марта 1768 г. в Оксерре, воспитывался по указанию Оксеррского епископа в военной школе, которой заведовали бенедиктинцы. Своего отца, бывшего простым портным, он потерял, будучи еще восьми лет от роду. По окончании школы Фурье, как не дворянин, не был допущен к экзамену для поступления в артиллерию, и хотел, было поступить в монахи, но тут вспыхнула революция, которой он отдался с энтузиазмом, и план монашества был оставлен. Фурье принадлежал к числу тех 1500 учеников, которые были приняты в École Normale. В 1796 г. он стал преподавателем военной школы, а затем в политехнической. Бонапарт взял его с собой в Египет, где он был членом, а потом секретарем Египетского института. Из Египта он ушел вместе с остатками армии. Затем до 1815 г. он был префектом Изерского департамента. Хотя он и отказался исполнить приказание Карно арестовать Бурбонов,

206 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

собрал воедино и дополнил все свои прежние, частью задолго до того начатые работы¹. Он начал свою работу как раз с того пункта, который физиками-экспериментаторами был оставлен в крайне запутанном виде, а именно с понятия о теплопроводности. Ясность его воззрений и определенность понятий, далее, диктуемые математической разработкой строгость разделения и точность характеристики действующих факторов открыли и для физиков-экспериментаторов новые исходные пункты и цели для дальнейших исследований. Поэтому сочинение Фурье имеет огромное значение не только для математики, которой оно дало новую область для работы², но и для физики, которую оно методологически обогатило в очень слабом для нее пункте.

Математическая разработка вопросов у Фурье является чисто аналитической; благодаря разложению функций в периодические ряды она получила огромное значение для анализа вообще. Фурье поставил себе целью разработать математически теорию теплоты, под которой он понимал преимущественно теорию распространения тепла внутри тел, — таким же образом, как это было сделано Лагранжем для механики³.

Проблема распространения теплоты заключается в том, чтобы определить температуру любой точки тела в любой момент времени,

однако, по возвращении последних он оставался в Париже некоторое время без всяких средств к существованию, пока через посредство одного из своих бывших учеников не получил места при статистическом бюро. В 1816 г. он был избран членом Парижской академии, но утвержден лишь в 1817 г. По смерти д'Аламбера стал секретарем академии, а по смерти Лапласа президентом Политехнической школы. Умер он 16 мая 1830 г. в Париже.

¹ „Theorie analytique de la chaleur“, Paris 1822 („Аналитическая теория теплоты“). Первые работы Фурье о распространении тепла между отдельными телами относятся еще к началу XIX века. Исследование о распространении тепла внутри тел Фурье послал во Французскую академию в 1807 г. Извлечение из нее появилось в 1808 г. в Bull. de la Soc. philomath. Второе более обширное исследование по тому же вопросу было опубликовано 28 сентября 1811 г. в Archive des Instituts, в 1812 г. оно было премировано, но в мемуарах академии появилось лишь в 1824 г. „Знаменитые члены комиссии, разбиравшей это сочинение, Лаплас, Лагранж, Лежандр... заявили..., что правильные дифференциальные уравнения для распространения тепла, наконец найдены; но они вместе с тем указали, что метод, с помощью которого автор к ним пришел, наталкивается на трудности; далее, они прибавили, что и методы интегрирования содержат в себе некоторые недочеты даже с точки зрения строгости; однако мнения своего они не подтвердили никакими дальнейшими соображениями. Фурье никогда не мог согласиться с этим отзывом комиссии” (Arago, Sämmtl. Werke, I, стр. 273).

² „Те же самые теории, которые нас привели к интегралам дифференциальных уравнений теплоты, могут быть применены как к вопросам анализа вообще, так и к проблемам динамики, для которых долгое время не находили решений. Глубокое изучение природы дает богатый источник для математических открытий” (Fourier, Théorie analytique de la chaleur, стр. XIII).

³ „Принципы этой теории я вывел по примеру рациональной механики из очень небольшого числа основных фактов, причин которых математики не доискиваются, смотря на них как на результаты обычных наблюдений, неизменно повторяющихся в том же виде при каждом соответственном опыте” (Fourier, Théorie analytique de la chaleur, стр. XII). „Полагаю, что развитые в этом сочинении новые теории навсегда останутся связанными с математическими науками и, подобно последним, построены на незыблемых основаниях. Сохраняя неизменно свои основы, они постоянно будут развиваться дальше” (стр. XVII).

ТЕОРИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ФУРЬЕ 207

когда температуры всех его точек для определенного исходного времени даны. Но тепловое состояние тела определяется не одним лишь стремлением теплоты распределиться равномерно по телу, но также излучением тепла с поверхности тела в окружающее пространство. *«Эффект распространения теплоты, — говорит Фурье, — зависит для всякого твердого тела от трех основных причин: 1) от теплоемкости, 2) от внутренней теплопроводности и 3) от внешней теплопроводности.* Эти три основные свойства являются в формулах для каждого данного тела постоянными величинами. Если они определены, то все вопросы, касающиеся движения теплоты, разрешаются уже аналитически, путем вычислений.

Основной принцип распространения теплоты может быть выражен так: *«Когда две частицы тела, расположенные бесконечно близко друг от друга, имеют различные температуры, то более теплая частица отдает менее теплой в каждый момент времени известное количество ¹ своего тепла; это количество тепла в каждый отдельный момент времени пропорционально разности температур, если эта разность очень мала».* «Непосредственная передача теплоты происходит во всех направлениях, но в телах не теплопрозрачных она происходит лишь между бесконечно близкими друг к другу частицами». *Внешняя теплопроводность* определяется количеством тепла, которое при стационарном истечении в течение 1 мин. отдает единица поверхности, нагретая до 1°, воздуху, имеющему температуру 0°. «Наблюдения многих физиков и мои собственные показывают, что интенсивность лучей, исходящих во всевозможных направлениях из данной точки поверхности, зависит от величины угла, образуемого ими с этой поверхностью. Я доказал, что интенсивность луча уменьшается с уменьшением угла, образуемого им с элементом поверхности, окружающим точку излучения, и что она пропорциональна синусу этого угла». *Внутренняя теплопроводность* измеряется количеством тепла, «которое в слое однородного вещества толщиной в единицу длины проходит при стационарном состоянии через параллельную пограничным плоскостям единицу площади, когда одна из пограничных плоскостей постоянно поддерживается при температуре воды, кипящей при нормальных условиях, а другая — при температуре льда, тающего при нормальных условиях».

Последнее определение является наиболее важным, так как оно представляет собою основу для исследований о распространении тепла внутри тела, «составляющих в сущности, теорию теплоты» ², но для того времени, при существовавших тогда воззрениях, оно вызывало наибольшие трудности и получило наименьшее распространение. *Фурье пришел к такому определению, рассматривая теплоту как ток.* «Итак, если желают составить дифференциальные уравнения для тепло-

¹ За единицу теплоты Фурье принимает „то количество тепла, которое необходимо сообщить 1 кг льда при 0°, чтобы превратить его в 1 кг воды при той же температуре". По существу эта же единица тепла лежала в основании работ Лавуазье и Лапласа над теплоемкостью; она же была принята Био в его „Учебнике экспериментальной физики".

² *Fourier, Théorie analytique de la chaleur, стр. XV.*

208 ФОРМУЛА ТЕПЛОВОГО ТОКА

вых движений, изменяющихся во времени, то нужно иметь выражение для количества тепла, проходящего в течение определенного времени через бесконечно малую частицу тела. Но это количество не просто пропорционально разности температур на пограничных поверхностях частицы... Если два элемента одной и той же призмы имеют различную длину, а разность температур на их основаниях одна и та же, то количества тепла, проходящие через них в одно и то же время, будут обратно пропорциональны длинам этих элементов». Другими словами; *скорость тока зависит не только от падения температуры, но и от скорости этого падения, от длины пути, на протяжении которого происходит это падение; совершенно так, как скорость потока зависит не только от разности высот двух данных мест, но еще и от отношения этой разности к горизонтальному расстоянию между этими местами*¹. Поэтому тепловой ток Q через пластинку толщиной D с площадью поперечного сечения F , при температурах пограничных плоскостей V и t составит:

$$Q = l \frac{F (t' - t)}{D}.$$

Отсюда прямо вытекает приведенное выше определение удельной теплопроводности. После того как Фурье установит формулу для теплового тока внутри тела и через его поверхность, определение теплового состояния тела в любой момент времени становилось уже делом математического анализа. Он сам произвел расчеты для бесконечно длинной призмы, шара, кольца и куба. Приложения же теории касаются преимущественно распределения тепла внутри Земли, на ее поверхности и в нашей солнечной системе.

Фурье принял внутреннюю теплопроводность для каждого данного вещества постоянной; однако Форбс² позднее показал, что у железа на промежутке от 0 до 100° она убывает на 15,9%, а у меди — на 24,5%. Ангстрем тоже констатировал у меди понижение теплопроводности с повышением температуры. К мысли о возможности такого понижения Форбса привело сравнение теплопроводности и электропроводности, соотношение между которыми он принимал равным для всех металлов³. Опыты Г. Видемана и Франца⁴ дали результаты, благоприятные для этого допущения; опыты Фр. Вебера⁵ как будто указывали на некоторую изменчивость отношения обеих проводимостей в связи с удельною теплотою металлов. Однако более поздние иссле-

¹ Совершенно аналогичные соображения Ома по поводу электрического тока были нами приведены выше. Не подлежит сомнению, что Ом был наведен на них Фурье. Таким образом, математическая теория теплоты Фурье послужила косвенно поводом к развитию математической теории гальванического тока.

² James David Forbes родился 20 апреля 1809 г. в Эдинбурге, умер 31 декабря 1868 г. в Клифтоне, — профессор физики Эдинбургского университета, впоследствии занимался преимущественно изучением глетчеров.

³ Forbes, Proceedings of the Roy. Soc. of Edinb., I, 1832. Angström, „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 513 и CXVIII, стр. 423.

⁴ „Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 497, 1853.

⁵ „Wied. Ann.", XIII, стр. 416.

ТЕОРИЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФУРЬЕ 209

дования ¹ показали вероятность допущения, что при постоянной температуре отношение обеих проводимостей остается для всех металлов постоянным, но с повышением температуры электрическая проводимость убывает быстрее тепловой, так что можно принять:

$$\frac{\text{теплопроводность}}{\text{электропроводность}} = \text{константе} \times T,$$

где T обозначает абсолютную температуру ².

Внешняя отдача тепла происходит, по Фурье, путем излучения его в пространство и путем непосредственной передачи его окружающей тело среде. Для установления закона охлаждения тел, относительно которого мнения были столь разноречивы, необходимо было исследовать различные виды зависимости указанных двух факторов от внешних условий.

Многочисленные и весьма тщательные опыты в этом направлении были опубликованы в 1818 г. Дюлонгом и Пти ³. Термометр, служивший в качестве нагретого испытуемого тела, был помещен внутри закопченного с внутренней стороны медного шара, диаметром в 3 дециметра. Шкалу термометра окружала пришлифованная к отверстию шара стеклянная трубка, которая по желанию наблюдателя приводилась в сообщение с приемником воздушного насоса или с газометром, так что из шара можно было по произволу выкачивать воздух или заполнять его любым газом. Температура шара поддерживалась постоянной посредством окружающего его слоя воды. При опытах термометр нагревался почти до температуры кипения ртути, быстро вводился в шар, и затем наблюдалось его охлаждение. При этом выяснилось, что *в безвоздушном пространстве охлаждение (только благодаря излучению) зависит не только от разности температур самого тела и окружающей его среды, но также от абсолютной температуры последней, причем оно возрастает вместе с этой температурой.* Если отвлечься от изменений внешней температуры, то *ньютонский закон* охлаждения оказался действительным лишь для малых разностей температур. В большинстве же случаев охлаждение оказывалось больше, чем по этому закону, быть может, потому, что и внешняя оболочка шара теряла теплоту, которая должна была возмещаться. Устройство этих приборов позволяло производить наблюдения охлаждения лишь над двумя различными веществами: *стеклом и серебром*; для последней цели шарик термометра покрывался слоем серебра. Так как способность излучения этих веществ очень различна, а между тем законы оказались для обоих одни и те же, то Дюлонг и Пти сочли возможным распространить эти законы вообще на все вещества.

¹ *Kirchhoff und Hansemann*, „Wied. Ann.“, XIII, стр. 406, 1881; *Lorrenz*, „Wied. Ann.“, XIII, стр. 422, 582.

² Ср. *Wiedemann*, *Die Lehre von der Elektrizität*, I, стр. 532—536.

³ *Recherches sur la mesure de temperatures et sur les lois de la communication de la chaleur*, „Annales de chimie et de physique“, VII, стр. 113, 225, 337, 1818. Работа удостоилась премии Парижской академии, „Schweigger's Journ.“ XXV, стр. 304, 1819

210 СВЯЗЬ ТЕПЛООТДАЧИ С ТЕПЛОЕМКОСТЬЮ

Чтобы определить охлаждение путем непосредственной отдачи *окружающей* среде, Дюлонг и Пти наполняли шар разными газами при различных температурах и давлениях, определяли времена охлаждения и вычитали из них определенные раньше времена охлаждения в пустоте. Этим путем они пришли к следующему закону: *потеря тепла путем непосредственного соприкосновения с газом не зависит, при прочих равных условиях, от свойств поверхности охлаждающегося тела, но зависит от плотности и температуры газа, причем эта зависимость такова, что скорость охлаждения остается неизменной, когда плотность и температура газа изменяются таким образом, что упругость последнего остается постоянной*. Позднейшие работы, как, например, исследования де-ля-Провосте и Десеня ¹, а также работа Вильгельми ², в основном подтвердили этот результат.

Внешняя тепловая отдача тела зависит, конечно, и от его *теплоемкости*. После того как Дюлонг и Пти установили закон охлаждения, они, естественно, пришли к тому, чтобы из этих явлений определить удельную теплоемкость различных веществ. И. Т. Майер ³ уже раньше утверждал, что удельная теплота тела может быть установлена по времени его охлаждения, а Лесли ⁴ произвел подобные определения. Но против этих опытов возражали, указывая, что на точность измерений в данном случае влияют побочные обстоятельства, как различная способность излучения, неодинаковая теплопроводность и пр. Однако в опытах Дюлонга и Пти эти источники ошибок были устранены, так как для наблюдения охлаждения они опять применили описанный выше прибор ⁵. Для того чтобы изучение оставалось постоянным, они заключали испытуемое тело вместе с термометром всегда в один и тот же тонкостенный сосуд, который помещали в медном шаре, подобно тому, как в прежних опытах они помещали там термометр. Для исключения проводимости воздух в шаре откачивался до 2 мм ртутного столба. Температура шара поддерживалась постоянной на 0°, и отмечались времена охлаждения, когда температура снижалась с 10 до 5 или до 0°. Произведенные Дюлонгом и Пти определения теплоемкости твердых тел оказались вполне удовлетворительными и вскоре привели к установлению закона, носящего имя этих исследователей: *произведение удельных теплоемкостей химически простых тел на их атомные веса равно постоянной величине*. Этот закон был также распространен на жидкости и газы, но вначале встретил больше возражений, чем подтверждений. Даже Берцелиус, признававший большую важность этого закона для определения атомных весов, сначала оставил вопрос о всеобщности этого закона

¹ „Annales de chimie et de physique" (3), XVI, стр. 337, 1846; „Pogg. Ann.", LXVIII, стр. 235 и LXIX, стр. 367.

² *Wilhelmy*, Versuch einer mathem.-phys. Wärmetheorie, Heidelberg 1851.

³ *J. T. Mayer*, Über die Gesetze und Modificationen des Wärmestoffs, Erlangen 1796.

⁴ *Leslie*, Experimental inquiry into the nature and properties of heat, London 1804.

⁵ *Dulong et Petit*, Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur, „Annales de chimie et de physique", X, стр. 396, 1819. „Schweigger's Journ.", XXVIII, стр. 121, 1820.

ЗАКОН АВОГАДРО. ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТЕЛ 211

открытым¹. Однако позднейшие исследователи, как Фр. Э. Нейман², Реньо³ и др., не только подтвердили закон Дюлонга и Пти, но даже распространили его и на химические соединения, хотя в то же время даже по отношению к некоторым элементам осталось несколько необъяснимых исключений⁴.

Одним из первых в пользу закона Дюлонга-Пти высказался Авогадро, который усмотрел в нем доказательство в пользу своей гипотезы относительно величины частиц тел. Именно, еще в 1811 г.⁵ он высказал свой знаменитый закон, согласно которому *в равных объемах различных газов содержится при всех прочих равных условиях одинаковое число частиц*, или что то же: удельные веса газов относятся между собою, как веса их молекул. Интересно отметить, что открытие Авогадро совершенно не было оценено в свое время ни химиками, ни физиками и было оставлено ими без внимания. Г. Копп⁶ объясняет это до известной степени тем, «что в то время химики только что начали сводить отношения составов соединений к относительным весам минимальных частиц, входящих в соединение элементов; поэтому тогда казалось, что различать частицы двух видов, а именно: наименьшие физические частицы и еще меньшие химические, как это более отчетливо делалось впоследствии, это значило бы скорее усложнить, чем облегчить теорию». Так и Ампер в 1814 г.⁷ не смог ввести в научный обиход разделения вещества на частицы и атомы, а в 1835 г.⁸ тройного деления материи: на частицы, которым еще присуще агрегатное состояние тела, на молекулы, или физически наименьшие частицы, и на атомы, или химически наименьшие частицы. Определения теплоемкости, удавшиеся Дюлонгу и Пти по отношению к *твердым и жидким телам*, не могли быть столь же удачными и для *газов*, так как сосуд калориметра может вместить лишь очень незначительные массы газа, а при подобных условиях должно сильно сказываться влияние стенок сосуда. Уже Лавуазье и Лаплас, исследуя теплоемкость газов, пропускали через свой ледяной калориметр срав-

¹ Kopp, Entwicklung der Chemie, München 1883, стр. 396.

² „Pogg. Ann.", XXIII, стр. 1, 1831.

³ „Annales de chimie et de physique" (2), LXXIII, стр. 5, 1840; „Pogg. Ann.", LI, стр. 44, 213, 1840. „Annales de chimie et de physique" (3), I, стр. 129, 1841. „Pogg. Ann.", LIII, стр. 60, 243, 1861.

⁴ Alexis Therese Petit родился 2 октября 1791 г. в Везуль, умер 21 июня 1820 г., в Париже, — профессор физики в Парижской политехнической школе.

Pierre Louis Dulong родился 12 февраля 1785 г. в Руане, умер 19 июля 1838 г. в Париже, с 1820 г. — профессор физики в Парижской политехнической школе; позднее — ее директор. Сначала был врачом и не только лечил бедных больных даром, но и оплачивал их лекарства. Сделавшись позднее физиком, он потратил свое состояние на дорогие приборы. На могиле Дюлонга Араго восхвалял его проницательный ум, основательность, терпение, точность в опытах и осторожность в выводах.

⁵ Versuch eines Verfahrens die relativen Gewichte der Elementarmoleculé der Körper und die Verhältnisse zu bestimmen, nach welchen dieselben in Verbindung treten, „Journ. d. phys.", LXXIII, 1811.

⁶ Entwicklung d. Chemie, стр. 353.

⁷ Annales de chimie et de physique (1), XC, 1814.

⁸ Там же (2), LVII, 1835.

212 ТЕПЛОЕМКОСТЬ ГАЗОВ

нительно большие объемы газов и измеряли их температуру перед впуском и после выхода их из калориметра; зная массу прошедшего через калориметр газа и количество растаявшего льда, они определяли искомую величину теплоемкости; при всем том они, однако, не получили надежных результатов. Эта цель была впервые достигнута при посредстве подобного же, но усовершенствованного способа Деларошем и Бераром ¹. Работа этих физиков, за которую они получили премию Парижской академии, появилась под заглавием «Sur la détermination de la chaleur spécifique des différents gas» («Определение удельной теплоемкости различных газов»), «Annales de chimie et de physique», LXXXV, стр. 72, 1813.

В их опытах вода, вытекавшая равномерно из мариоттовского сосуда, вытесняла воздух из приемника в закрытый шар и сжимала находившийся здесь животный пузырь с исследуемым газом. Последний из пузыря протекал по трубке, которая проходила сначала через более широкую трубку, где газ согревался паром до 100°, а затем восемью витками проходил через водяной калориметр. По повышению температуры воды в калориметре и по понижению температуры выходящего из калориметра газа определялась теплоемкость последнего.

Указанным путем Деларош и Берар получили для *равных весовых количеств* различных газов следующие числа:

Атмосферный воздух	1,0000	0,2669	Закись азота	0,8875	0,2369
Водород	12,3401	3,2936	Маслородный газ	1,5763	0,4207
Углекислота	0,8280	0,2210	Окись углерода	1,0805	0,1884
Кислород	0,8848	0,2361	Водяной пар	3,1360	0,8470
Азот	1,0318	0,2754	Вода		1,0000

Если пересчитать эти величины на равные объемы газов, то для кислорода, водорода и азота получаются почти равные числа, прочие же газы дают значительные отклонения. Гайкрафт (Haught) приписывал последнее обстоятельство неточности опытов Делароша и Берара и утверждал ², — это уже раньше его считал вероятным и Гей-Люссак, — *что все простые и сложные газы, взятые в равных объемах, обладают одинаковой теплоемкостью*. К этому мнению присоединились Марсе и де-ла-Риз, которые на основании собственных многочисленных опытов пришли к этому закону. Последние сначала применяли в своих опытах приборы, аналогичные тем, какими пользовались Дюлонг и Пти, т. е. они заключали в калориметр определенные объемы исследуемых газов ³. Но когда против полученных ими результатов были высказаны многочисленные возражения, они тоже стали пропускать через калориметр струи газов ⁴. Эти исследования были до известной

¹ Jacques Etienne Bérard (1789—1869) был сначала препаратором у Бертолле в Париже, с 1817 года — профессор химии в Монпелье.

² Edinb. Phil. Trans., X, стр. 195; „Gilbert's Ann.", LXXVI, стр. 289, 1824.

³ Annales de chimie et de physique, XXXIII, стр. 209; там же XXXV, стр. 5, 1827. „Pogg. Ann", X, стр. 363, 1827; там же XVI, стр. 340, 1829.

⁴ Bibl. univ., XXVIII, стр. 360, 1840. „Pogg. Ann.", LII, стр. 120, 1841.

степени завершены В. Реньо ¹, который начал свои работы в 1840 г. по способу Делароша и Берара, но только с более тонкими приборами и с соблюдением всех возможных мер предосторожности. Полученные им числа для теплоемкости газов считаются и до настоящего времени в учебниках физики наиболее достоверными и надежными. Но результаты Реньо хорошо согласуются с числами Делароша и тоже подтверждают вышеприведенный закон лишь для трех газов: водорода, кислорода и азота, больше всех прочих приближающихся по своим свойствам к идеальному газу. Все эти опыты, конечно, относились к случаям, когда газ находился под постоянным давлением и мог свободно расширяться. Прямое же определение теплоемкости газа при постоянном объеме не удавалось. Но уже и тогда знали, что в первом случае теплоемкость должна быть больше, чем во втором, так как там тепло идет не только на повышение температуры, но и на расширение газа ². Эразм Дарвин наблюдал уже в 1788 г. охлаждение воздуха, когда струя последнего вырывалась из духового ружья и падала на термометр или когда воздух впускался в пустоту под колокол воздушного насоса. Отсюда он вывел заключение, что холод на высоких горах происходит от разреженного воздуха ³. В 1798 г. Пикте опубликовал наблюдение, согласно которому в трубке, из которой вытекал сильно сжатый воздух, капли воды замерзли ⁴. Однако другие физики либо считали это наблюдение только кажущимся, вызванным неодинаковым расширением стекла и ртути, либо объясняли его испарением воды, заключающейся в воздухе. *Первым, кто вполне выяснил и установил связь между потреблением тепла и изменением объема газов, был, по-видимому, Дальтон* ⁵. Насколько нов был такой взгляд в то время даже для физиков, всего лучше показывает то удивление, которое было вызвано изобретением *воздушного огнива*. Говорят, что рабочий оружейного завода в Etienne en Forez первый заметил факт сильного повышения температуры в духовом ружье при зарядении его обыкновенным нагнетательным насосом и что ему же первому удалось этим способом зажечь кусок трута. Лионский профессор физики Молле сообщил об этом в Париж ⁶, где, однако, его сообщению придали мало веры, пока оно не было подтверждено на опыте. Позднее особенно убедительными

¹ Mém. d. l'Acad. des sc. d. l'Inst. d. France, XXVI, стр. 58.

² Био обратил внимание даже на то обстоятельство, что собственно оба вида теплоемкости следует различать также и в твердых и жидких телах: „Конечно, с таким же затруднением мы встречаемся и в опытах над теплоемкостью твердых и жидких тел, так как и они при охлаждении сжимаются; но так как изменение их объема значительно меньше, то и соответствующую отдачу тепла считают очень незначительной по сравнению с той, которая происходит вследствие понижения температуры" (Lehrbuch d. Experimentalphysik, IV, стр. 295).

³ Erasmus Darwin (1731—1802, дед Чарльза Дарвина), Frigorific exper. on the median, expansion of air, Phil. Trans. LXXVIII, 1788; „Green's Neues Journal", I, стр. 73, 790.

⁴ „Gilbert's Ann." II, стр. 243. 1799.

⁵ Dalton, On the heat and cold produced by the mechan. condensat. and rarefaction of air, Mem. Manch. Soc. V, pt. II, стр. 515, 1802, доложено в 1800 г. „Gilbert's Ann". XIV, стр. 191, 1803.

⁶ „Journ. d. phys.", LVIII, 1803.

214 ТЕПЛОТА СЖАТИЯ И ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИ РАСШИРЕНИИ

считали те опыты, при которых охлаждение от разряжения наблюдалось при посредстве *металлических термометров*¹.

Нагреванием газа при сжатии и охлаждением его при расширении воспользовались Гей-Люсак и Вельтер², а также Дезорм и Клеман³ для определения отношения теплоемкости воздуха при расширении и без такового. Пользуясь по существу одним и тем же методом, первые двое нашли для упомянутого отношения, обозначаемого обыкновенно буквой K , число 1,372, а вторые 1,357. Однако было высказано предположение, что при незначительности количеств тепла, участвующих в опытах, тепловые потери должны быть сравнительно велики, и поэтому полученные здесь числа меньше действительных. Поэтому Дюлонг предложил для проверки этих опытов другой, методически новый, косвенный путь определения того же отношения.

На основании исследований Ньютона (см. вторую часть настоящего сочинения, русский перевод, стр. 228) о скорости распространения звука в газах для этой скорости получается формула:

$$v = \sqrt{\frac{ghs_1}{s}},$$

где g обозначает ускорение силы тяжести, h — высоту барометра, s и s_1 — удельные веса ртути и газа по отношению к воде. Выше было уже упомянуто, что, по Лапласу, эта величина должна быть помножена на $\sqrt{k}$, так как только при этом условии получается согласие формулы с опытом. Поэтому исправленная формула скорости распространения звука в газах имеет следующий вид:

$$v = \sqrt{\frac{ghks_1}{s}}.$$

Обратив эту задачу, Дюлонг⁴, наоборот, вычислил коэффициент k по данным звука, полученным опытным путем, и определил таким образом теплоемкость различных газов при постоянном объеме. Скорость распространения звука в различных газах он измерил по способу Хладни, но более точно, при помощи звучащих труб.

¹ Изобретение металлического термометра относят к началу XIX века и приписывают часовщику Иергенсену в Копенгагене или часовщику Гольцманну в Вене. Более значительному распространению этого прибора содействовал парижский часовщик Авр. Луи Брегерет (1748—1823). *A. L. Breguet, Nouveaux thermomètres métalliques, „Annales de chimie et de physique”, V, 1817.*

² *Gay Lussac, Prem. ess. p déterminer les variations de temp. qu'éprouvent les gas en chahgement de densité et la considération s. leur capacity p. le calorique, Mém. de la Soc. d'Arcueil, I, 1807.*

Gay Lussac et Welter, Mécanique céleste. V, стр. 125, 1825.

³ *Désormes et Clément, Du zéro absolu de la chaleur et du calorique spécifique, „Journ. de physique”, LXXXIX, стр. 333. 1819.* Charles Bernard Désormes (1777—1862;— репетитор химии в Политехнической школе, потом — фабрикант химических продуктов; его зять Клеман (умер в 1841 г.) был профессором прикладной химии в Conservatoire des Arts et Métiers.

⁴ *Dulong, Recherches sur la chaleur specihque des fluides élastiques, „Annales de chimie et de physique”, XLI, стр. 113, 1829; „Pogg. Ann.”, стр. 438, 1829.*

$$k = \frac{v^2 \cdot s}{gh \cdot s_1}$$

Из этих наблюдений и при посредстве формулы он получил следующую таблицу.

Г а з ы	Значения k	Г а з ы	Значения k
Атмосферный воздух . . .	1,421	Окись углерода . . .	1,423—1,433
Кислород	1,415—1,417	Окись азота	1,343
Водород	1,405—1,409	Маслородный газ . .	1,240
Углекислота	1,337—1,340		

Значение k для атмосферного воздуха, полученное Дюлонгом, значительно отличалось от гей-люссаковского; тем не менее, Дюлонг настаивал на его правильности и, как впоследствии выяснилось, не без основания.

Открытием явления нагревания при сжатии и охлаждения при расширении была вполне ясно установлена не только возможность превращения механической силы и теплоты, но и выявлялась, по крайней мере, с качественной стороны, взаимность этих превращений. *Из этих фактов, по-видимому, непосредственно вытекая вопрос, не является ли количественно отношение этих превращений постоянным и нельзя ли после превращения механической силы в теплоту получить из последней механическую силу не только в ее первоначальном виде, но и в первоначальном размере, и не является ли отношение этих превращений и в количественном отношении взаимным.* К разрешению этой проблемы побуждало все более и более развивавшееся применение термодинамических машин; а необходимые для таких исследований метрические основы, единицы механической силы и теплоты в то время уже существовали.

Тем не менее, разрешением этой проблемы занялся только один ученый, и притом не принадлежавший к числу наиболее известных физиков или техников, а именно капитан инженерных войск Сади Карно. Она им была разрешена в такой мере, насколько это можно было сделать без потрясения господствовавшей тогда теории теплоты. Свою работу он опубликовал под заглавием «Refléxions sur la puissance motrice du feu les (machines propres á développer cette puissance», Paris 1824¹ («Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных проявить эту силу»). Наиболее существенное в этом сочинении заключается вкратце в следующем. Всякая термодинамическая машина, так как ее температура не может падать без конца, должна быть по истечении некоторого времени ее действия возвращена к первоначальному своему состоянию, чтобы вновь начать свое действие. Значит, каждая термодинамическая машина должна постоянно пробегать *циклические процессы*, коротко говоря, всякая такая машина должна быть

¹ Имеется русский перевод (Госиздат „Классики естествознания" № 7, Москва 1923).
Прим. ред.

216 СВЯЗЬ ТЕПЛОТЫ И МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

циклической. Чтобы составить себе понятие о действии подобной машины, представим себе паровой цилиндр с подвижным поршнем, совершенно непроницаемый для теплоты, так чтобы цилиндр мог только воспринимать тепло из парового котла и отдавать его конденсатору. При этом паровой котел и конденсатор мы рассматриваем лишь как резервуары тепла и холода, находящиеся при постоянной температуре, связанные с паровым цилиндром исключительно только процессом *обмена* тепла. Представим себе теперь, что паровой цилиндр, в который налито некоторое количество воды, а поршень опущен до уровня последней и удерживается в этом положении, нагрет до температуры парового котла. Начнем наш опыт с того, что сообщим цилиндр с паровым котлом и опустим поршень. Тогда вода в цилиндре начнет испаряться и поднимать поршень, и необходимая для этого теплота будет притекать из парового котла. По истечении некоторого времени разобщим цилиндр с котлом. Вследствие упругости водяных паров поршень будет продолжать подниматься, но температура паров будет при этом понижаться. Когда температура цилиндра снизится до температуры конденсатора, сообщим цилиндр с последним и, нажимая на поршень, заставим его опуститься вниз. При этом, конечно, разовьется теплота, но последняя перейдет в конденсатор. Снизив поршень на некоторое определенное расстояние, разобщим его теперь с конденсатором, после чего будем продолжать нажимать на поршень. При этом последнем снижении поршня можно достичь исходного положения, т. е. опустить поршень до дна цилиндра и довести температуру последнего до температуры котла. В течение этих четырех стадий законченного циклического процесса паровой цилиндр в первой стадии заимствовал теплоту из паровика, а в третьей отдал ее конденсатору; далее, в первой и второй стадиях он произвел работу путем поднятия поршня, а в третьей и четвертой находился сам под действием внешней силы и при снижении поршня потребил работу. Однако эта последняя работа меньше первой, так как одно и то же движение происходило в первом случае при более высокой, а во втором при более низкой температуре. Следовательно, в итоге данного циклического процесса получился выигрыш работы, т. е. произведена некоторая работа, но зато котел потерял тепло, передав его при посредстве цилиндра конденсатору. *Карно считает тепловую потерю парового котла и тепловую прибыль конденсатора абсолютно равными друг другу и видит в этом одно из основных положений теории теплоты*¹. Но тогда, значит, *работа* может производиться лишь *при переходе тепла от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой*. Тепловой ток от тела более нагретого к телу менее нагретому должен давать механическую работу совершенно так же, как поток падающей воды². Отсюда уже один шаг до обратного по-

¹ „Réflexions и т. д.“, стр. 27. „Этот факт никогда не подвергался сомнению; он был принят сначала без обсуждения, а затем во многих случаях был подтвержден на калориметрических опытах. Отрицать его — значило бы опрокинуть всю теорию тепла, для которой он служит основой”.

² Выражение *la chute du calorique* (падение теплорода) ясно указывает, что и его представления имеют свои корни в работах Фурье.

ЦИКЛИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС КАРНО 217

ложения, а именно, что для переноса тепла с тела более холодного на тело более нагретое необходима механическая работа и что количество тепла будет равно прежнему, если работа будет та же самая.

В отношении описанного циклического процесса это совершенно ясно. Его столько же легко можно себе представить идущим в обратном направлении; в этом случае та же самая работа, которая раньше выигрывалась, теперь будет затрачена на перенос прежнего количества тепла из конденсатора в паровой котел. *Однако обратимые циклические процессы представляют собой наиболее благоприятный случай превращения тепла и работы.* В самом деле, если бы было возможно каким-либо иным путем переносить тепло с холодного тела на теплое, не затрачивая на это работы или затрачивая ее меньше, чем при обратном циклическом процессе, то, пользуясь работой, которую дает машина, переводящая тепло с более теплого тела на холодное, и, употребляя лишь часть этой работы на возврат тепла к его первоначальному источнику, можно было бы, в конечном счете, получить постоянную работу без всяких тепловых затрат. *Но perpetuum mobile невозможно, значит, и на возврат тепла с холодного тела на теплое невозможно затрачивать работы меньше того количества, какое необходимо при обратимом циклическом процессе. Итак, между механической работой, количеством теплоты и разностью температур существует определенное соотношение, не зависящее от каких-либо иных условий, как, например, от природы веществ, содержащих теплоту, и т. д.*

Благодаря последнему положению Карно стал отцом новейшей теории теплоты в той мере, в которой последняя является математической теорией, рассматривающей только количественные отношения явлений. В этой области до сих пор остался неизменным и его метод: машиной Карно с ее циклическими процессами новейшая теория теплоты пользуется совершенно так же, как он сам ¹. Другая заслуга Карно заключается в том, что он первый ясно и определенно указал на невозможность создания не только механических, но и физических сил, объявив невозможным не только механический *perpetuum mobile*, но и физический *perpetuum mobile* ², по крайней мере, поскольку речь идет о термодинамических машинах. Но, с другой стороны, Карно в своей работе ничего не сделал для количественного сопоставления теплоты и механической силы и для полного выяснения их соотношения. Впрочем, это обуславливалось существом его воззрений на природу теплоты, которые принадлежали еще к старой физике. Согласно этим

¹ Хотя сочинение Карно по своему духу является чисто математическим, тем не менее, в интересах общедоступности Карно избегает по возможности математических формул и всяких искусственных выражений. С математической стороны оно было обработано потом В. Р. Е. Clapeyron (Клапейроном) (1799—1864, инженер) в сочинении „Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur" („Journ. de l'École Polyt.", XIV, 1834; переведено на немецкий язык в Pogg. Ann.", LIX, стр. 446, 1843).

² В какой мере в то время различали эти два понятия, можно видеть из слов Мунке (Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., VII, стр. 410): „Если мы будем говорить о *perpetuum mobile physicum*, то не подлежит сомнению, что оно возможно, так как вещественный кругооборот в природе непрерывен и постоянно» возобновляется".

218 ОТНОШЕНИЕ ФИЗИКОВ К РАБОТАМ КАРНО

воззрениям, не теплота была причиной работы, не она превращалась в механическую силу: теплота оставалась при всякой работе неизменной, терялся лишь ее уровень, превратившийся в работу. Поэтому, конечно, не могло быть и речи о соотношении между количеством тепла и работы, и понятие о превращении тепла и сохранении энергии, характеризующее новейшую физику, было еще совершенно чуждо Карно. Поэтому и сочинение его, перебросившее, так сказать, мост между учением о теплоте и механикой, оставило по-прежнему совершенно невыясненным вопрос об отношении теории теплоты к прочим областям физики.

Во всяком случае, нельзя не удивляться полнейшему равнодушию, которым встретили сочинение Карно его современники. Ни у Берцелиуса, в его «Jahresberichten über die Fortschritte der Physik und Chemie», ни в появившихся тогда сводках «Repertorium der Physik», ни, наконец, у Гелера в его «Физическом словаре» о Карно нет ни слова; и лишь после того, как был открыт механический эквивалент теплоты, работы его получили заслуженную известность¹.

Если даже исследования Карно не смогли повлиять преобразующим образом на тогдашнюю теорию теплоты, то еще меньше можно было ожидать такого влияния со стороны вновь предпринятых работ над *лучистой теплотой*, несмотря на достигнутые ими значительные результаты. Первое сообщение о *термомультипликаторе*, обусловившем эти успехи, сделал Нобили² в 1830 г. В следующем 1831 г. он

1 См. *Helmholtz*, Über die Erhaltung der Kraft, Berlin 1847 Wissenschaftliche Abhandlungen, I, стр. 33, Leipzig 1882. *Thomson*, An account of Carnot's theorie Edinb. Trans., XVI, 1849). Работа Гельмгольца „О сохранении силы" издана на русском языке в серии „Классики естествознания" Госиздатом в 1922 г. и ГТТИ в 1934 г. *Прим. ред.*

Sadi Carnot, третий сын военного министра французской республики Лазаря Карно, родился 1 июня 1796 г. В 1812 г. поступил в Политехническую школу, из которой вышел в 1814 г. офицером инженерных войск. В 1819 г., когда был сформирован Генеральный штаб, поступил туда лейтенантом; но, не получая и здесь хода, вероятно, в связи с тем, что отец его был в изгнании, он принялся за изучение тепловых явлений. В 1828 г. он покинул службу. В июне 1832 г. болел скарлатиной, а 24 августа того же года умер от холеры в течение нескольких часов. Кроме своих „Reflexions..." он не опубликовал никаких научных работ, но брат его, Ипполит Карно, выпуская „Reflexions..." вторым изданием (Paris; Gauthier-Villars, 1878), приложил к этой книге кроме биографии еще *наброски новых предполагавшихся работ*. Из них выясняется, что впоследствии Сади Карно отказался от теории теплового вещества, приблизительно определил величину механического эквивалента теплоты и высказал в общей форме закон сохранения силы. Вот его слова: „Согласно некоторым составившимся у меня представлениям о теории теплоты, для получения единицы работы (1000 кгм) необходимо потребить 2,70 тепловых единиц". „Можно поэтому установить общее положение, что движущая сила в природе есть величина неизменная, что она, строго говоря, не создается и не разрушается". Ясность и определенность этих мыслей заставляют пожалеть о том, что соответствующие работы не были закончены и были так поздно опубликованы. Но, во всяком случае, эти обстоятельства не позволяют поставить Карно в один ряд с основоположниками нового воззрения на силу, с Майером, Джоулем и Гельмгольцем. (Ср *Rich. Rühlmann*, Handbuch der mechan. Wärmetheorie, II, стр. 910—912, Braunschweig 1885.)

² Leopoldi Nobili ((1784—1835) — профессор физики во Флоренции], Descriptions d'un thermomultiplicateur ou thermoscope électrique, Bibl. univ., XLIV, стр. 225, 1830; „Pogg. Ann.", XX, стр. 245, 1830.

же вместе с Меллони сообщил результаты своих наблюдений, произведенных при посредстве усовершенствованного ими прибора, *над тепловым спектром Солнца и над прозрачностью различных веществ для темных тепловых лучей*¹. Уже ранее того Зеебек² установил «в отношении неравномерного возбуждения тепла в призматическом спектре Солнца» следующие законы, не дав для них никакого объяснения: «во всех призматических спектральных цветах происходит возбуждение тепла, усиливающееся по направлению от крайнего фиолетового конца к красному; в одних призмах максимум тепла лежит в желтых лучах, в других — в красных; призмы из кронгласа и обыкновенного мягкого стекла дают наибольшее тепло в красном цвете; призмы из флинтгласа — за этим цветом, и во всех без исключения призмах тепловое возбуждение заходит на несколько дюймов за предел красного конца. Меллони разделил видимую часть солнечного спектра, полученного при помощи призмы из кронгласа, на семь частей, соответственно цветам и продолжил это деление в тепловой невидимой части спектра за областью красных лучей. Сравнив показания мультипликатора, когда свет из той или другой части спектра падал на прибор непосредственно, или же пройдя через слой воды в 1 мм толщиной, заключенный между двумя плоскопараллельными стеклами, он получил следующую таблицу:

Цветные зоны	Показания термоскопа		Потеря при прохождении через воду в частях первоначальной температуры
	непосредственно	через воду	
Фиолетовая	2	2	0,00
Синяя	5	4,5	0,10
Голубая	9	8	0,11
Зеленая	12	10	0,17
Желтая	25	20	0,20
Красно-желтая	29	21	0,27
Красная	32	20	0,37
Изотермическая с красно-желтой . .	29	14	0,52
Изотермическая с желтой	25	9	0,44
Изотермическая с зеленой	12	3	0,75
Изотермическая с голубой	9	1	0,88
Изотермическая с синей	5	0,5	0,90
Изотермическая с фиолетовой . . .	2	0	1,00

Уже отсюда вытекало, что *тепловые лучи очень разнородны* и что они пропускаются водою в различной степени. Два года спустя Мел-

¹ „Annales de chimie et de physique“, стр. 385, 1831; „Pogg. Ann.“, XXIV стр. 640, 1831.

² Abhandl. d. Berl. Acad., стр. 305, 1818—1819.

220 ТЕПЛОПРОЗРАЧНОСТЬ

лони ¹ уже стало ясно, что различные вещества *проницаемы для тепловых лучей в весьма неодинаковой степени*, и это свойство он обозначил словом *диатерман*, *теплопрозрачный*, соответственно слову диафан ² (предложенному Ампером). Так, например, из 100 лучей аргантовой лампы нижеследующие вещества, взятые в форме слоя в 9,2 мм толщиной, пропустили следующие количества лучей:

Зеркальное стекло	53	Эфир	21
Сернистый углерод (бесцв.) .	63	Алкоголь (абсол.)	15
Хлористая сера (красно-бурая) 63		Раствор квасцов	12
Терпентиновое масло (бесцв.) 31		Вода (дестил.)	11

При слое толщиной в 2,62 мм получились следующие числа:

Каменная соль (прозр. крист.)..... 92

Зеркальное стекло (прозр.).....62

Теплопрозрачность оказалась, таким образом, независимой от световой прозрачности.

Теплопрозрачностью легко объяснялось *различное положение теплового максимума в солнечном спектре*. Так как лучи, соответствующие красному концу спектра, поглощаются всего сильнее, то у веществ с малой теплопрозрачностью (например, кронглас) максимум перемещается по направлению к фиолетовым лучам, у каменной же соли, наоборот, он смещается в невидимую часть спектра. *Но поглощение тепловых лучей не растет пропорционально толщине слоев*. Если стеклянную пластинку в 8 мм толщины мысленно разложить на слои в 2 мм, то потеря в первом слое составит 0,381, во втором 0,134, в третьем 0,087 и в четвертом 0,058 всего количества теплоты, падающей на соответствующую пластинку. Этот факт объясняется избирательным поглощением пластинки. Первая пластинка (слой) стекла поглощает почти все лучи, которые вообще могут быть поглощены этим веществом, а лучи, которые прошли сквозь первую пластинку, в дальнейшем вообще очень мало поглощаются.

В следующем году Меллони исследовал тепловые лучи, испускаемые различными *искусственными источниками тепла* ³, и нашел, что в различных источниках *количественное содержание различных тепловых лучей очень разнообразно, вплоть до того, что в некоторых из них часть тепловых лучей совершенно отсутствует*. Каменная соль и на этот раз оказалась единственным телом прозрачным для всех тепловых лучей любых источников, как стекло прозрачно для различных

¹ Mém. sur la transmiss. libre de la chaleur rayonnante par differents corps solides et liquides, pres. a l'Academie des Sciences, 4 Febr. 1833. „Annales de chimie et de physique", LIII, стр. 5, 1833. „Pogg. Ann.", XXXV, стр. 112 и 277, 1835. Предварительное сообщение „Pogg. Ann.", XXVIII, стр. 240, 638, 643.

² Diaphan — прозрачный для света; diathermon — прозрачный для тепла. *Прим. ред.*

³ „Nouvelles recherches sur la transmission immediate de la chaleur", доложено в Академии 21 апреля 1834 г. Des modifications que subissent les transmissions calorifiques par le changement de la source rayonnante, „Annales de chimie et de physique", LV, стр. 337, 1834; „Pogg. Ann.", XXXV, стр. 385 и 529.

ТОЖДЕСТВО ТЕПЛОВЫХ ЛУЧЕЙ СО СВЕТОВЫМИ 221

лучей света ¹. Позднее Меллони доказал, что *тепловые лучи, подобно световым, преломляются и отражаются и что отражение, в зависимости от отражающей поверхности, бывает правильным или диффузным* ². Первый вид отражения зависит, главным образом, от отражающей поверхности и для всех тепловых лучей одинаков; второй вид отражения для отдельных лучей варьирует в значительной степени в зависимости от поглощательной способности соответствующих веществ. Но вообще из всех исследований Меллони вполне определенно вытекало, что *пока тепловые и световые лучи могут двигаться свободно, законы их движения и их видоизменения под влиянием весомой материи остаются одними и теми же: большие различия между ними возникают лишь тогда, когда состояние излучения прерывается на поверхности тел или внутри их* ³.

В пользу такого взгляда говорили также результаты опытов с *поляризацией тепловых лучей*, которыми теперь снова начали усердно заниматься. Берар ⁴ наблюдал поляризационные явления на тепловых лучах, соединенных со световыми; но аналогичные опыты с темными лучами ему не удалось. То же было с Баден-Пуэлле ⁵ и Нобили ⁶. Наоборот, Форбс ⁷ оказался счастливее, и ему удалось показать, что поляризацию тепловых лучей можно аналогично световым лучам осуществить различными способами. А позднее ему и Меллони ⁸, который вначале тоже получал отрицательные результаты, очень быстро удалось довести исследование данного вопроса до удовлетворительного результата ⁹.

Работы Меллони над лучистой теплотой своеобразно повлияли на теорию теплоты. После того как волновая теория света уже была почти всеми признана, абсолютное тождество тепловых лучей со световыми сделало необходимой и волновую теорию теплоты. В этом уже не сомневался ни один физик; но следовало ли принять для света и для теплоты одну и ту же колеблющуюся среду или же следовало

¹ В качестве источников тепла Меллони применял: 1) светлое ламповое пламя без стекла; 2) платиновую спираль, накалившую на спиртовом пламени; 3) нагретый таким же образом до 390° медный тигель; 4) сосуд с кипящей водой.

² „Annales de chimie et de physique”, LXXV; „Pogg. Ann.” LII, стр. 421, 1841.

³ Macedonio Melloni родился 11 апреля 1798 г. в Париже, умер 11 августа 1854 г. в Портичи, уже в 1824 г. был профессором физики в Пармском университете, но в 1831 г., вследствие участия в революционном движении, должен был бежать во Францию, где жил в качестве частного лица в Париже. В 1839 г. стал директором Консерватории искусств и ремесел в Неаполе.

⁴ „Gilb. Ann.”, XLVI, стр. 376, 1814.

⁵ „Edinb. Journ. of Science”, new. Ser, III, стр. 297, 1830; „Pogg. Ann.”, XXI, стр. 311.

⁶ Bibl. univ. LVII, „Pogg. Ann.”, XXXVI, стр. 531, 1835.

⁷ Forbes, On the refraction and polarization of heat, Edinb. Trans. XIII; „Pogg. Ann.”, XXXV, стр. 533. Сочинение это содержит: а) опыты над теплотой лунного света; б) о поляризации теплоты турмалином; в) о поляризации теплоты преломлением и отражением; г) о деполяризации и двойном преломлении теплоты.

⁸ „Pogg. Ann.”, XXXV, стр. 533, 1835.

⁹ Melloni, Mém. sur la polarisation de la chaleur, „Annales de chimie et de physique”, LXI и LXV; „Pogg. Ann.” XXXIX, стр. 1, 1836 и XLIII, стр. 18 и 257, 1838.

222 ПРИРОДА ТЕПЛОТЫ. ОБРАЗОВАНИЕ РОСЫ ПО УЭЛЬСУ

допустить *два специфически различных эфира*, тепловой и световой, на этот счет мнения расходились. Большинство, в том числе и Меллони, склонялись в пользу последнего допущения, и только один Ампер, с его более широким взглядом на соотношение физических сил, который уже однажды свел две невесомых жидкости, магнетизм и электричество, на одну жидкость, взял на себя труд доказать, что *для объяснения световых и тепловых явлений достаточно одного эфира*¹. По его мнению, лучи светящегося тела состоят из множества волн, большая часть которых, падая на нашу кожу, дает ощущение тепла, а меньшая часть, действуя на глаз, вызывает ощущение света. Волны темных тепловых лучей длиннее световых волн. Теплопроводность тел, которую физики считали аргументом в пользу особого теплового вещества, отличного от светового эфира, вызывается, согласно Амперу, тем, что атомы тел воспринимают движение эфирных волн, и возбужденные таким образом колебания *атомов* распространяются от *частицы к частице*. Следовательно, *теплота тела заключается в колебаниях атомов, происходящих внутри частиц*.

Однако физики тогда еще не хотели знать об отличии атомов от молекул, и так как кроме светового эфира им, во всяком случае, приходилось принимать еще другие невесомые вещества, то всего проще было остановиться на особом тепловом эфире, совершающем колебания, аналогичные световым.

Таким образом, все более и более пробивавшаяся наружу мысль о единстве всех сил природы была снова отстранена, но теперь уже на очень короткое время.

Многочисленные работы над тепловыми явлениями способствовали уяснению многих явлений в области *метеорологии*. По мнению И. Фосса, роса падает со звезд или, по крайней мере, с больших высот не менее чем *в милю*. По Хр. Л. Герстену (1733) она поднимается с земли и оседает каплями на верхушках листьев. Подобных же взглядов придерживались Мушенбрек (Introduction, II, стр. 987—995) и Дюфэ; последний, впрочем, считал, что в процессе образования росы участвует и электричество. Шарль де-Руа как сторонник теории растворения утверждал, что по вечерам охладившийся воздух не может уже держать в растворе пары, растворившиеся в нем в течение дня, и сравнивал явление росы с запотеванием оконных стекол. Однако общее одобрение встретила только теория Уэльса, опубликованная им в 1814 г.²

Уэльс говорит: представим себе маленькое свободно излучающее теплоту тело нагретым вместе с окружающей атмосферой выше 0° R и лежащим на открытом воздухе при ясной спокойной атмосфере на подставке, которая очень слабо проводит тепло; представим себе, далее, что над ним в воздухе, на некоторой высоте, носится твердая ледяная кора. Следствием будет то, что тело быстро станет холоднее окружающего воздуха. В самом деле, изучая теплоту вверх, оно не

¹ Bibl. univ., XLVIII, стр. 265; „Pogg. Ann.“, XXVI, стр. 161, 1832.

² William Charles Wells [(1757—1817) врач в Лондоне], An Essay on Dew, London 1814.

ОБРАЗОВАНИЕ РОСЫ. ГИГРОМЕТР ДАНИЕЛЯ 223

будет получать ее ото льда обратно в том же количестве, а из земли убыль тепла тоже не может пополниться, так как тело отделено от земли плохим проводником. Окружающий неподвижный воздух тоже не восполнит этой потери. Значит, тело неизбежно станет холоднее воздуха, и если последний богат парами, то они должны будут сгуститься на поверхности тела. Совершенно то же происходит при осаждении росы на траву в ясную тихую ночь. Верхние части травы излучают теплоту в области пустого пространства, откуда теплового притока вниз не существует; а нижние части растений вследствие плохой их теплопроводности не пропускают тепла из земли; окружающий воздух тоже мало возмещает потерю, и в результате трава, охлаждаясь по сравнению с воздухом, сгущает на своей поверхности пары. Поэтому-то хорошие проводники тепла, например металлы, не покрываются росой, так как их потери от излучения постоянно возмещаются из окружающей среды. Облачное небо должно препятствовать образованию росы, так как оно возвращает земле излученную теплоту; ветры тоже неблагоприятны для росы, так как благодаря ним охлаждающиеся предметы тоже возмещают утраченную теплоту. Возражая против существовавшего тогда мнения, принятого, между прочим, и французскими математиками, будто роса образуется из пара, выделяемого растениями, Уэльс указывает, что участие этих паров в образовании росы не подлежит сомнению, но что эти пары не представляют собою главного фактора; за это говорит тот факт, что высохшие растения покрываются росой не меньше свежих¹.

За более правильным объяснением процесса образования росы вскоре последовало изобретение прибора для определения точки росы, который вначале, правда, предназначался не для этой цели, а для измерения влажности атмосферы и потому назывался просто гигрометром. Уже де-Руа в 1751 г. определял влажность атмосферы, вливая в стеклянный сосуд ледяную воду до тех пор, пока стенки сосуда не становились снаружи влажными. Берцелиус устроил в 1807 г.² термометр с шариком из полированной стали, на котором было удобнее наблюдать появление влаги. Не зная об этих опытах, Даниель после многократных неудач построил свой *гигрометр*³. Этот прибор имел совершенно ту же форму, какая применяется и ныне, с тою лишь разницей, что резервуары были сделаны из обыкновенного стекла. Берлинский механик Грейнер вскоре несколько улучшил этот прибор, покрыв экваториальный пояс шара, внутри которого находится термометр, знакомым нам слоем золота.

¹ Ср. Gehler's physik. Wörterbuch, 2. Aufl., IX, стр. 687. Присоединяясь к мнению Герстена, Дж. Эйткен („Nature", XXXIII, 256, 1886) показал, что в образовании росы очень большую роль играет также и влажность почвы.

² Förslag till en förbättrad Hygrometer, Aufh. i Fysik, Kemi och Mineralogi, II,

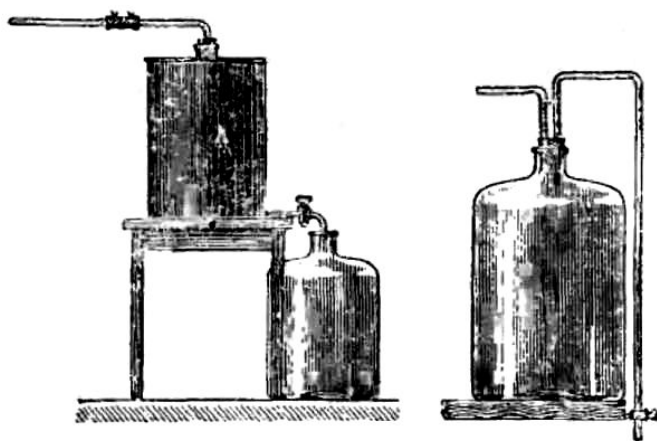
³ John Frederic Daniell (родился 2 марта 1790 г. в Лондоне, умер 13 марта 1845 г. в Лондоне, сначала — промышленник, с 1831 г. — профессор химии в Лондонском Kings College), On a New Hygrometer, „Quart. Journ. of Science", VIII и IX, 1820; „Gilb. Ann.", LXV, стр. 169, 409. Берцелиус (Fortschr. de Physik, III, стр. 63) относит изобретение этого прибора к 1818 г.

224 ПСИХРОМЕТР АУГУСТА. МЕХАНИКА

Гигрометр Даниеля повлек за собою изобретение *психрометра* Аугуста¹. Задавшись целью применить термометры, предназначенные для гигрометра Даниеля, к измерению охлаждения от испарения, он один из термометров повесил свободно, а шарик другого обвил кисеей, которую смочил водою. Полагая, далее, на основании своих наблюдений, что разность показаний его термометров составляет половину разности соответственных показаний в гигрометре Даниеля, он устроил приспособление, которое поддерживало шарик одного термометра постоянно в мокром состоянии, и укрепил оба термометра на подставке; этот новый прибор он назвал психрометром. Аугуст, однако, не ограничился установлением зависимости показаний своего прибора и даниелевского гигрометра — он составил особые формулы, с помощью которых можно прямо определить как точку росы, так равно и упругость и плотность водяного пара в воздухе (черт. 8). Тем не менее, психрометр Аугуста не получил быстрого и широкого распространения, как гигрометр Даниеля, и только после указаний ученых, как Баумгартен, Боненбергер и Мунке, убедились в ненадежности определения точки росы с помощью прибора Даниеля и в преимуществе психрометра Аугуста.

Метод *поглощения* для определения абсолютной влажности воздуха был впервые предложен де-Морво². Последний поглощал влагу из определенного объема воздуха хлористым кальцием и затем определял количество водяных паров по приращению веса хлористого кальция. Карл Эммануил Бруннер (профессор химии в Берне) построил около 1830 г.³ особый прибор, аспиратор, в котором значительные количества воздуха пропускались через трубки, наполненные хлористым кальцием или же асбестом, пропитанным серной кислотой.

МЕХАНИКА (приблизительно от 1815 до 1840 г.). Аналитическая *механика* с *Лагранжем* принципиально достигла своей законченности. Единая формула охватывала все проблемы статики, а из другой, тесно с нею связанной, вытекало и решение всех проблем динамики.



Черт. 8.

¹ Ernst Ferdinand August (родился в 1795 г. в Пренцлау, умер в 1870 г. в Берлине; в 1817 г. — учитель Иохимтальской гимназии, в 1827 г. — директор Кельнской реальной гимназии), Über das Psychrometer, „Pogg. Ann.“, V, стр. 69, 335 и XIV, стр. 137, 1825 и 1828.

² Louis Bernard Guyton de Morveau (родился в 1737 г. в Дижоне, умер в 1816 г. в Париже) — профессор химии в Дижоне, с 1794 г. — профессор химии в École Polytechnique в Париже Description d'un hygromètre pour le gaz. „Annales. de chimie et d. physique“, XXXI, 1808; „Gilb. Ann.“, XXXI, стр. 417—240, 1809.

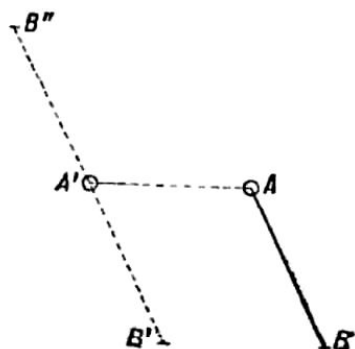
³ Brunner, Bestimmung des Wassergehaltes der Atmosphäre, „Pogg. Ann.“, XX, стр. 274, 1830.

МЕХАНИКА ПУАНСО. ПАРЫ СИЛ 225

В лице Лагранжа наиболее наглядно выявилась мощь анализа, позволяющего получать строго логически решения всевозможных частных проблем с помощью единого, совершенно общего метода рассуждения. Но с другой стороны, в нем выявились, в особенности для независимых умов, и недостатки его чисто аналитического метода, сказывавшиеся в частом несоответствии его приемов решения с приемами, связанными со специальными свойствами отдельных задач, следствием чего зачастую являлась *ненаглядность, отсутствие непосредственной очевидности* и, наконец, трудность правильного *специализирования* общих формул.

Для применения своего принципа виртуальных скоростей к решению частных случаев равновесия, Лагранж был вынужден очень сложным путем вывести из него шесть известных условий и указать их геометрическое значение. Пуансо¹, в своих «*Elements de statique*» (Paris 1804) («Начала статики») ² вернулся к *синтетическому* методу и те же шесть уравнений вывел геометрически из возможности различных видов движения тела (черт. 9).

Когда все действующие силы приложены к одной точке или, по крайней мере, сходятся по своему направлению в одну точку, то их можно легко сложить геометрически по правилу параллелограмма сил и таким образом графически определить совокупное их действие. Но если этого условия налицо нет, следует перед сложением перенести силы в одну точку, что, однако, без введения новых сил невыполнимо. Так, если силу, пропорциональную отрезку AB и одинаково с ним направленную, желают переместить в точку A' того же тела, то это можно сделать не иначе, как допустив в точке A' существование двух равных, параллельных, но противоположно направленных сил. Тогда помимо силы $A'B'$, которую можно рассматривать как перемещенную силу AB , получается система сил AB и $A'B''$. *Эти равные, параллельные и противоположно направленные силы не имеют результирующей, не могут быть заменены одной силой и производят, следовательно, не перемещение, а вращение тела.* Пуансо назвал эту систему *парой сил*. Здесь момент вращения пропорционален произведению величины действующих сил на их расстояние. Простыми построениями можно показать, что пару сил можно произвольно перемещать и вращать в ее плоскости или даже в плоскостях ей параллельных, откуда следует, что действие пары зависит только *от момента пары и направления ее*



Черт. 9.

¹ Louis Poinsot родился 3 января 1777 г. в Париже, умер 5 декабря 1859 г. в Париже, был профессором математики и механики в Политехнической школе с 1809 по 1816 г., потом оставался там в звании экзаменатора (Examineur d'admission) до 1825 г.; кроме того, был профессором математики в лицее Бонапарта, — членом Высшего учебного совета, а с 1852 г. — сенатором.

² Есть русский перевод под редакцией А. Н. Долгова, Научно-техническое изд-во, Пгрд 1920 г.

226 ЗНАЧЕНИЕ ТЕОРИИ ПАРЫ СИЛ

плоскости. Если представить себе перпендикуляр, восстановленный к этой плоскости, и отложить на нем длину, пропорциональную величине момента, то величиной этого отрезка и его направлением пара сил вполне определяется. Пуансо называет этот отрезок *осью пары сил*. Таким образом, сложение пар сил в параллельных плоскостях сводится к сложению отрезков прямой линии. Далее, с помощью опять-таки простых построений доказывается, что пары, расположенные в непараллельных плоскостях, тоже складываются в единую результирующую пару, ось которой получается из осей слагаемых пар по закону параллелограмма сил.

Итак, какие бы силы ни действовали на тело, их действие всегда можно свести к *одной силе и одной паре сил*: следовательно, условия равновесия сводятся к тому, чтобы результирующая сила и результирующая пара были равны нулю, или, говоря геометрически, к невозможности перемещения и вращения тела.

Если, кроме того, результирующую силу отнести к трем осям координат, а результирующую пару к трем координатным плоскостям, и каждую из шести проекций приравнять нулю, то получаются те старые шесть условий равновесия аналитической механики, которые обозначают отсутствие перемещений по какому-либо из трех взаимно перпендикулярных направлений и отсутствие вращений около какой-либо оси, параллельной последним.

Ко второму изданию своей статике Пуансо прибавил особую статью «*Mémoire sur la composition des moments et des aires*» («О сложности моментов и площадей»), имевшую своей целью частью еще более выяснить теорию пар, частью указать общие крайне интересные положения, касающиеся величины результирующих пар, частью, наконец, разъяснить применение пар сил к решению вопросов динамики. Объем и ценность своего нового механического метода Пуансо сам вполне правильно определяет в предисловии ко второму изданию «Статике»¹: «При этом можно будет убедиться, что пара сил имеет значение не какого-либо единичного случая, а существенного элемента механики, которого в ней до сих пор недоставало... Кроме того, легко заметить, что в динамике сложению пар сил соответствует сложение вращательных движений... вследствие чего — при невозможности для нас представить себе наглядно движение тел иначе, как в виде одновременного перемещения и вращения около какой-либо точки — параллелограмм анализа движения всякого тела конечной величины, и притом началами анализа движения всякого тела конечной величины, и притом началами, непосредственно вытекающими из самой природы вещей. Наконец, можно будет заметить, насколько метод пар сил легок и насколько он превосходит прежний метод, если принять во внимание, во-первых, что из него тотчас же вытекают все условия равновесия, теорема Эйлера об отнесенных к отдельным осям суммах моментов какой-либо системы сил, наибольший момент и неизменная площадь поверхностей Лапласа; во-вторых, что настоящий метод дает возможность дополнить эти части механики новыми теоремами, касающимися центральной оси

¹ *Eléments de statique*, Paris 1824, стр. IX—X.

моментом (как мы ее назвали) и единственной площади минимальной поверхности между бесконечным числом максимальных поверхностей».

Вопрос о наглядном рассмотрении движения тела, о возможном переводе его из одного определенного положения в другое, намеченное Пуансо в только что приведенном предисловии, он развивает в новой фундаментальной работе «Théorie nouvelle de la rotation des corps» (Paris 1834) («Новая теория вращения тел») ¹. Здесь рассматриваются, главным образом, сложение и разложение вращений, а также вращение тела около одной неподвижной точки. Для последнего случая он предварительно обосновывает характерное положение, согласно которому *всякое вращение тела около неподвижной точки может быть осуществлено качением неподвижно связанного с телом конуса по другому неподвижному конусу, вершина которого остается в постоянном соприкосновении с вершиною первого конуса.*

Эта чисто геометрическая теория движения, не принимавшая в расчет ни времени, ни силы, была позднее дальше разработана Родригом, Шалем, Мебиусом и ныне представлена в любом учебнике механики. Но в начале идеи Пуансо прививались очень туго, кажущееся всемогущество анализа задерживало распространение синтеза. Пуассон и Навье в своих учебниках механики *тридцатых годов* впервые упоминают о парах сил и методах Пуансо. В Германии на них усиленно обращают внимание Мебиус (Lehrbuch des Statik, 1837) и Фердинанд Миндинг (Handbuch der theoretischen Mechanik, 1838), и примерно в тот же период *синтетический метод* начинает снова приобретать значение и в геометрии.

Аналитическая механика развивалась в это время, конечно, в общем по путям, проложенным Лангранжем, претерпевая, правда, некоторые изменения и более или менее прогрессируя. Такой крупный ученый, как Гаусс ² попытался установить новый принцип механики,

¹ Повторно напечатано в журнале Лиувилля („Journal de mathém. pures et appliquées", XVI, 1851); переведено Шельбахом, Берлин 1851.

² Über ein neues allgemeines Grundgesetz der Mechanik, „Crelle's Journal für reine u. angewandte Mathematik", IV, 1829. Gauss, Sämmtl. Werke, т. V, стр. 23. Cp. Scheffler, Über ein neues Grundgesetz der Mechanik und das Gauss'sche Princip des kleinsten Zwanges, „Schlömilch's Ztschr. f. Mathem. u. Physik", III, стр. 197. 1858.

Karl Friedrich Gauss родился 30 апреля 1777 г. в Брауншвейге от бедных родителей. При поддержке герцога Карла Вильгельма Фердинанда он посещал с 1792 до 1795 г. Collegium Carolinum в Брауншвейге и с осени 1795 г. до лета 1798 г. Геттингенский университет. Уже в первый год своего студенчества (1796 г.) он показал, что кроме известных правильных многоугольников — треугольника, четырехугольника, пятиугольника и дальнейших фигур, получающихся отсюда путем удвоения сторон, существует много других, например семнадцатиугольник, допускающих геометрическое построение. В 1799 г. он защитил диссертацию на право преподавания в университете, в которой доказал, что всякая целая рациональная алгебраическая функция одной переменной может быть разложена на вещественные множители 1 или 2 степени. В 1801 г. появились его знаменитые „Disquisitiones arithmetical", печатание которых началось, впрочем, уже в 1798 г. За работу об орбите Цереры он получил в 1802 г. от Брауншвейтского герцога ежегодную пенсию в 400 рейхсталеров. В 1807 г. он сделался профессором математики и директором Астрономической обсерватории в Геттингене. В 1809 г., спустя 200 лет после выхода в свет сочинения Кеплера

228 ПРИНЦИП НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ ГАМИЛЬТОНА

который должен был обнять непосредственно и в самом общем виде все статистические и динамические проблемы механики. Принцип этот гласит: *«Движение системы материальных точек, связанных между собою каким-либо образом и подчиненных в своих перемещениях каким-либо внешним ограничениям, совершается в каждое мгновение в наибольшем возможном соответствии со свободным движением или с наименьшим возможным ограничением. Гаусс считает это начало непосредственно очевидным, и потому предпочитает его началу виртуальных скоростей. Однако первое справедливо лишь условно, поэтому и вывод нельзя считать бесспорным. В словесной формулировке за этим положением можно еще признать очевидность, но последняя исчезает при переводе его на математический язык. Ранее чем применить данное начало, следует предварительно математически определить понятие «ограничение», а когда соответствующее выражение для него найдено, следует еще доказать, что оно при всех возможных обстоятельствах будет представлять наименьшую величину. А так как применение принципа наименьшего ограничения Гаусса не создает никаких преимуществ по сравнению с началом виртуальных скоростей, то хотя он и был принят с уважением, но действительного успеха не имел. Плодотворнее оказалось установление Гамильтоном ¹ нового или, скорее, видоизменение и расширение старого механического принципа. Началу наименьшего действия Мопертюи, которое он назвал принципом стационарного действия, Гамильтон противопоставил более широкий принцип, названный им началом варьирующего действия ². Первое начало гласит: При всяком несвязанном движении системы из одного определенного начального положения в другое определенное положение действие необходимо стационарно (т. е. вариация его равна*

„Astronomia nova“, появилась главная работа Гаусса по астрономии „Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium“. В предисловии Гаусс говорит о кометах аналогично тому, как некогда выразился Кеплер о планетах: „в результате новых побед, одержанных законом тяготения Ньютона эти, по-видимому, долгое время беспорядочно бродившие тела, которые часто казались уже совсем побежденными, а затем снова восставали и вели себя, как бунтовщики, — дали, наконец, наложить на себя узду и из врагов превратились в друзей“. В 1321 г. Гаусс изобрел для больших градусных измерений в Ганновере гелиотроп. С 1831 г. когда, по его предложению, в Геттинген был приглашен Вебер, Гаусс стал больше прежнего заниматься физическими работами. Он умер в Геттингене 23 февраля 1855 г. (Gauss von W. Sartorius v. Waltershausen, Leipzig 1856).

¹ William Rowan Hamilton [(1805—1865) — профессор астрономии в Дублине], Theory of systems of rays (Transact, of the Royal Irish Academy, XV, стр. 80, 1828); On a general method in dynamics by which the study of the motions of all free systems of attracting or repelling points is reduced to the search and differentiation of one central relation or characteristic function (Philosophical Transactions, стр. 247, 1834; second essay, Philosophical Transactions, стр. 95, 1835).

² Philosophical Transactions, стр. 252, 1834. Гамильтон называет автором принципа наименьшего действия не Мопертюи, а „Лагранжа и др.". Он отмечает также, что ни Лагранж, ни Лаплас, ни Пуассон не придавали этому принципу большого значения, и указывает, что данное им начало более плодотворно, так как оно позволяет выразить при помощи одной лишь функции не только дифференциальные уравнения, но и интегралы движений.

нулю), если внутренние силы системы консервированы (т. е. если они по своей природе таковы, что в равные времена они производят равную работу). *Начало же варьирующего действия определяет его вариацию, когда начальные и конечные положения свободного движения, равно как и работа сил, изменчивы.* Кроме того, слово «действие», как это было уже замечено со времен Мопертюи, страдало неопределенностью, поэтому наиболее важным и решающим оказалось то обстоятельство, что Гамильтон придал ему определенный *смысл и математическое выражение*. Определив действие, как функцию суммы сил напряжения и живых сил системы, он не только показал, что *начало наименьшего действия, принцип d'Аламбера и уравнения движений Лагранжа, при всем их внешнем формальном различии, по существу тождественны*, но и доказал, что данное им начало представляет наибольшие удобства для самого общего применения.

По Кирхгофу¹ особое удобство гамильтоновского начала заключается в том, что оно дает возможность сравнительно легко вводить в дифференциальные уравнения движения системы материальных точек вместо прямоугольных координат другие переменные. Гельмгольц утверждает, что начало наименьшего действия (в форме, данной ему Гамильтоном) представляет, по всей вероятности, самый общий закон для всех вообще естественных (по крайней мере, для всех обратимых) процессов. «Отсюда уже теперь становится ясно, — говорит он, — что сфера применения начала наименьшего действия выходит далеко за пределы механики весомых тел и что казавшиеся преувеличенными надежды Мопертюи на признание за его законом абсолютной всеобщности, по-видимому, начинают сбываться, несмотря на скудность механических доказательств и противоречивость метафизических умозрений, которые автор положил в свое время в основание своего нового начала»².

Работы Гамильтона тесно соприкасались с развитием механики и математической физики еще и с другой стороны. Точное и удобное определение понятия действия, благодаря которому начало наименьшего действия собственно и получило широкое применение, было достигнуто Гамильтоном тем, что он ввел в рассмотрение новые функции и, главным образом, функцию, которую он называл *силовой функцией (force function)*. Это нововведение было собственно физикой использовано в большей мере, чем самое начало Гамильтона. В этом деле Гамильтон, будучи самостоятельным, не был, однако, первым. Уже за шесть лет до него, а именно в 1828 г., Грин³ в очень общем виде

¹ Kirchhoff, Vorlesungen über mathematische Physik, Leipzig 1874, стр. 28—29.

² „Journ. für reine und angewandte Mathematik“, С, стр. 142, 1886.

³ George Green (родился 14 июля 1793 г. в Ноттингэме, умер 31 марта 1841 г. в Снейнтоне, сын мельника и пекаря, занимался сначала ремеслом отца, потом учился в Кембридже, где получил звание Fellow of Caius College), An essay on the application of mathematical analysis to the theories of electricity and magnetism, Mettingham 1828; перепечатано с биографией Грина в „Crelle's Journ. f. reine und angew. Mathem.“, XXXIX, XLIV и XLVII. Всеобщую известность работы Грина приобрели только в 1846 г. благодаря статьям В. Томсона; методы Гамильтона тоже получили распространение лишь в новейшее время, преимущественно благодаря трудам английских ученых.

230 ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА

применил ту же функцию для определения физических сил и тоже дал ей особое название *потенциальной функции*. Но работы Грина, а по началу и работы Гамильтона, не обратили на себя должного внимания, и только в 1840 г. они получили всеобщую известность и признание благодаря Гауссу, который эту функцию назвал короче *потенциалом* ¹. Впрочем, применение этой функции для определения притяжений, действующих по закону тяготения, следует отнести еще к 1777 г., когда Лагранж ² доказал, что производные этой функции по определенным координатам равны составляющим силы, разложенной по этим координатам. Вскоре затем Лаплас ³ дал знаменитое дифференциальное уравнение функции v :

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0$$

применимость которого Пуассон, однако, должен был ограничить точками, лежащими вне действующих масс. Пуассон показал ⁴, что в общем виде, без этого ограничения, уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = -4\pi k,$$

где k обозначает плотность массы в соответственной точке; следовательно, пользуясь этим уравнением, можно при посредстве потенциала определить плотность массы в любой точке.

Математики определили потенциал как функцию, производные которой по координатам равны составляющим действующей силы по осям координат. При этом под действующей силой подразумевали только тяготение, и потенциал применялся только для решения проблем притяжения. Однако благодаря почину Грина потенциал стал приобретать все большее значение и в теории магнетизма и электричества; при его помощи Грин разрешил чисто математическим путем много задач об электрическом и магнитном влиянии, а равно о распределении магнетизма и электричества на телах. А так как благодаря этому потенциал по своему значению вышел далеко за пределы чистой математики, то в последнее время понятие о потенциале совершенно освободили от его прежнего аналитико-математического определения; в настоящее время его определяют по его отношению к механической работе, благодаря чему для новейшей физики открылась возможность обходиться без ставшего несколько сомнительным понятия

¹ Gauss, Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung, wirkenden Anziehungs und Abstossungskräfte помещено в четвертом томе изданных Гауссом и Вебером „Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins“, Göttingen 1839; также Gauss. Werke, V, стр. 195.

² Remarques générales sur les mouvements des plussieurs corps, qui s'attirent, Mém. de l'Acad. de Berlin 1777, стр. 155. По R. Baltzer, Zur Geschichte des Potentials, „Crelle's Jouin.“, LXXXVI. стр. 215, 1878. Гамильтон тоже указывает, что Лагранж открыл эту функцию

³ Théorie des attractions de sphéroides, Mém. d. l'Acad. de Paris 1782 (напечатано в 1785); также Mécanique céleste, liv. III.

⁴ Bulletin de la soc. philomathique, III, 1812, Mém. de l'Acad. de Paris, 1823.

ПОНЯТИЕ РАБОТЫ 231

силы. Соответственно сказанному, например, *электрический потенциал в данной точке электрического поля измеряется работой, производимой электрическими силами, когда единица электричества, сообщенная этой точке без каких-либо нарушений в состоянии электрического поля, удаляется отсюда на бесконечно далекое расстояние или до точки, где потенциал равен нулю*¹.

К этому же времени относится и точное установление *понятия работы*, и введение его в теоретическую механику. *Произведение силы на пройденный ею путь* применялось уже в XVIII веке при отдельных механических исследованиях. Карно (отец) обозначил его в 1876 г. термином *moment d'activite*, а Монж — *effet dynamique*. И только Понселе впервые в 1826 г. ввел в обиход термин *работа* (travail). Правда, слово работа встречалось и прежде; так, Юнг уже в 1807 г. утверждал, что работа пропорциональна живой силе. В своих «Lectures on natural philosophy» (London 1808, 1, стр. 78—79) он говорит: «Почти во всех случаях, встречающихся в практической механике, работа, необходимая для воспроизведения движения, пропорциональна не моменту, а энергии произведенного работой движения». «Словом энергия следует обозначать произведение массы или веса тела на квадрат числа, выражающего скорость». Этому эквивалентностью между работой и живой силой (или энергией) и воспользовался Понселе² как наилучшим средством для разрешения механико-технических задач, положив в основу своего знаменитого сочинения «Introduction a la mécanique industrielle» (Metz 1829, 2-е изд., 1841) в качестве главного положения *общий принцип передачи механической работы*.

Относительно всеобщности этого начала он высказывается (Introduction a la mécanique industrielle, стр. X—XI) в очень характерных выражениях: «В самом деле, начало виртуальных скоростей в применении его к действительным движениям тел — если при этом принимать во внимание все внутренние и внешние силы, которые увеличивают или уменьшают движение — приводит посредством простого элементарного суммирования полученных количеств работы к принципу передачи работы, к равенству суммы живых сил (mv^2) и удвоенной алгебраической суммы всех работ, исходя из такой точки зрения этот принцип обнимает собою все законы взаимодействия сил и притом в такой форме, которая значительно облегчает применение его к техни-

¹ Ср. Clerk Maxwell. A Treatise on Electricity and Magnetism I; немецкий перевод Lehrbuch d. Elektr. u. d. Magnetismus, Berlin 1883, I, стр. 75 и сл.

Hoppe, Geschichte der Elektrizität, Leipzig 1884, стр. 330 и сл.

Clausius (Die Potentialfunction und das Potential, Leipzig 1867) применяет исторические названия: функция силы, потенциальная функция и потенциал для различных видов одной и той же функции; однако этот прием не вошел в общее употребление, различные виды потенциала теперь обыкновенно обозначают особыми прибавками к этому слову.

² Jean Victor Poncelet родился 1 марта 1788 г в Меце, умер 23 декабря 1867 г. в Париже, ученик Политехнической школы, попал в плен во время похода в Россию и вернулся во Францию лишь в 1814 г. В 1815—1825 гг. был капитаном инженерных войск в Меце; в 1825—1835 гг. там же — профессором в École d'application. В 1835—1848 гг. был членом Комиссии по укреплению Парижа и с 1838 г. там же — профессором механической физики в Сорбонне; с 1848 г. — бригадный генерал.

232 ПОНЯТИЕ РАБОТЫ И ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ

ческой механике, т. е. к той части механики, которую прямо можно было бы назвать наукой о работе сил». В конце теоретической части своего сочинения Понселе снова возвращается к вопросу о передаче работы и показывает (стр. 131), что *работа или живая сила никогда не получается из ничего и никогда не уничтожается*, что в основании происхождения работы или живой силы всегда лежит какое-нибудь преобразование этих самых агентов¹.

При всем том не следует, однако забывать, что мы здесь находимся пока еще исключительно в *чисто механической области* и что понятия *энергия, работа и потенциал* здесь интерпретируются только *механически*. Полное значение для *всей физики* эти понятия получили лишь после того, как совершился великий переворот в наших воззрениях на природу и действие сил, после того, как был установлен *закон сохранения силы*. Было бы очень интересно и поучительно более внимательно исследовать то обоюдное влияние, которое оказали друг на друга приведенные выше понятия и идея сохранения сил. Первые, возникнув почти незаметно, распространяются постепенно и в некоторых кругах приобретают все большее значение, но до общего их признания дело не доходит. И вдруг, как будто без предварительной подготовки, появляется закон сохранения силы, и тогда только эти понятия оказываются настолько мощными, что они преобразуют самую идею силы или даже совсем вытесняют ее. *Таким образом, с первого взгляда создается впечатление, будто приведенные понятия были оплодотворены идеей сохранения силы; но более глубокое исследование могло бы, быть может, показать и обратное, а именно — постепенное возникновение закона сохранения силы из указанных предшествовавших ему по времени понятий*.

Хотя новые понятия прилагались преимущественно к *внешнему взаимодействию* тел, однако, математическая физика не упускала из виду исследования и *внутренних изменений* в телах. Исследования о двояком преломлении и поляризации света в различных веществах, с основанной для их объяснения Френелем *теорией упругости тел*, побудили наиболее выдающихся математиков к дальнейшим работам в этой области. Здесь, наряду с многократно упоминавшимся Пуассоном, следует на первом месте поставить Коши, который попытался подчинить математическому анализу все отделы физики, за исключением только электричества и магнетизма. К сожалению, его работы, имеющие огромную ценность с математической стороны, не имеют равной ценности для физики. С одной стороны, гипотезы о строении материи, которые он по необходимости должен был положить в основу своих математических исчислений, не обладают очевидностью; с другой стороны, выводимые им отсюда результаты не

¹ По тому же пути, как и Понселе, шел в то время Кориолис (G. G. Coriolis) [1792—1843), директор Политехнической школы]. Несколько ранее, хотя менее определенно. Навье (Navier) применил понятие работы в теории машин. Понселе в своем сочинении (стр. X) отмечает, что в изданных им студенческих лекциях 1826 г. он применял одинаково то выражение *travail mécanique*, то *quantité d'action*, и только позднее, по совету Кориолиса, он остановился исключительно на первом из них.

всегда настолько хорошо совпадают с опытными данными, чтобы в них, обратно, можно было найти подтверждение этих гипотез. Больше того, как раз работы Коши и — в меньшей степени — Пуассона были некоторыми учеными использованы для того, чтобы показать, что математическая дедукция, подобно философской, сама по себе не в состоянии приводить к правильному познанию законов природы без постоянного содействия опыта.

Как уже было отмечено, исследования Пуассона ¹ и Коши касались своею механическою стороною преимущественно теории упругости *и распространения движений в упругих средах*. При этом оба пришли к интересным выводам о природе материи, казавшимся крайне важными для господствовавшей тогда атомной теории. Лаплас заметил по поводу их выводов, что математики при своем интегрировании принимали материю сплошной и таким образом вступали в принципиальное противоречие с атомистикой, но что вытекающая отсюда погрешность, вследствие перевеса заполненного материей пространства над пустым, во всяком случае, исчезающе мала. Впоследствии Пуассон (преимущественно благодаря своим работам по волновой теории света) пришел к убеждению, что *допущение сплошного заполнения пространства в целях интегрирования возможно исключительно лишь для тех случаев, когда имеются в виду только действия во вне, и что в других случаях следует вместо интегралов применять суммы конечных разностей, т. е. считать материю не сплошной, а состоящей из отдельных частей*. Его примеру последовал и Коши ², разрабатывавший в самом общем виде механику системы материальных точек или мо-

¹ Simeon Denis Poisson родился 21 июня 1781 г. в Питивье (департамент Луары); отец его, бывший солдат, тогда был мелким чиновником. Когда мальчик подрос, он был отдан в ученье к родственнику хирургу (для работы в нотариальной конторе семейный совет считал его недостаточно умственно развитым), но к этой профессии он оказался совершенно непригодным. Наоборот, в Политехнической школе, куда он поступил в 1798 г., он постоянно шел первым. Уже в начале 1800 г. он сделался репетитором, в 1806 г. после Фурье — профессором в 1808 г. — астрономом при Бюро долгот, в 1809 г. — профессором рациональной механики в Сорбонне, в 1812 г., после Лежаидра, экзаменатором по артиллерии, в 1816 г., после Лакруа, экзаменатором абитуриентов в Политехнической школе, в 1820 г. — советником университета и в 1835 г. — пэром Франции. Умер он 25 апреля 1840 г. в Париже. Как ученый Пуассон отличался необычайным трудолюбием; уже в последние годы своей жизни он поставил себе задачей обработать в одном сочинении всю математическую физику, но успел издать лишь первые части его. Как преподаватель, он отличался основательной эрудицией и редкой ясностью. Составленный им лично перечень собственных работ занимает 17 стр. in octavo (Arago's Werke, II, стр. 552).

² Augustin Louis Cauchy родился 21 августа 1789 г. в Париже, и уже в 1816 г. был членом академии и вскоре профессором Политехнической школы, где он учился в юности. После июльской революции жил долго в качестве воспитателя герцога Бордосского в Праге и, вернувшись опять в Париж, преподавал математику и математическую астрономию. Умер он 23 мая 1857 г. в Сео, близ Парижа. С 1840 г. научные работы Коши следовали друг за другом с поразительною быстротою; Поггендорф (Biogr. Handwörterbuch, I, стр. 400) насчитывает в *Comptes Rendus* более 500 его статей и писем. Араго (Werke, II, стр. 525) делает по этому поводу ядовитое, хотя, может быть, и не совсем справедливое замечание; „Публика, вообще, и ученая публика, в частности, не верит, чтобы кто-либо мог обладать способностью делать каждую неделю по открытию“.

лекул, произвольно распределенных в пространстве и связанных силами взаимного притяжения и отталкивания. При этом опять-таки, в целях возможной общности, он силы принял равными произведению действующих масс на некоторую (неопределенную) функцию их расстояний. Когда упругость в системе масс была принята различной в разных направлениях, то в формулах оказалось множество постоянных; для систем с тремя взаимно перпендикулярными осями упругости число постоянных свелось к шести, которые могли быть определены путем наблюдения скорости распространения звука по соответственным направлениям. Как Коши ¹, так и Пуассон ² применили свои формулы к выводу деформации однородных упругих тел под влиянием определенных натяжений или давлений, к определению колебаний прутьев, пластинок, перепонки, струны и т. д. и, наконец, по крайней мере, первый из них — к разработке волновой теории света, к чему мы еще вернемся. Кроме того, оба они пытались проверить свои, полученные теоретическим путем результаты прямыми измерениями и здесь Коши оказался менее счастливым, чем Пуассон, который вообще давал гораздо больше числовых определений. Одно из таких определений долгое время интересовало и физиков-экспериментаторов. Пуассон вывел из своих формул, что удлинение струны или проволоки, вызванное ее растяжением, вчетверо превосходит укорочение диаметра, перпендикулярного к направлению растяжения. Опыты Каньяра де-Латура ³ подтвердили этот результат; однако более поздние измерения Вертгейма ⁴ вместо 4 дали число 3, вследствие чего стало вероятным, что вообще это отношение для различных веществ различно. Чтобы закончить изложение главнейших успехов теоретической механики того времени, следует еще упомянуть о замечательных исследованиях Якоби ⁵ по вопросу о фигурах равновесия вращающихся несжимаемых жидкостей. Со времен «*Treatise of Fluxions*» («Учение о бесконечно малых») Маклорена существовало убеждение, что свободно вращающаяся в пространстве несжимаемая жидкость должна под влиянием центробежных сил принимать форму эллипсоида вращения. Как сообщает Якоби, в связи с утверждением Понтекулана, что фигурами равновесия могут быть только тела вращения, он принялся за исследование этого вопроса «из духа противоречия», которому он «обя-

¹ Exercices de mathématiques, 1826—1836; исследования об упругости преимущественно во II—IV томах, механика не сплошной системы масс в III—IV томе. Краткое изложение исследований Коши о волнообразном движении в *Dove*, Repertorium der Physik, VII.

² Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques, Mém. de l'Acad., VIII, Paris 1829; Mémoire sur la propagation du mouvement dans les milieux élastiques, Mém. de l'Acad. X, 1831. До этого еще из „Annales de chimie et de physique" в „Pogg. Ann.", XII, стр. 516; XIII, стр. 383, 400; XIV, стр. 177.

³ „Annales de chimie et de physique", XXXVI, 1827, „Pogg. Ann.", XII, стр. 516, 1827: XIII, стр. 394, 1828.

⁴ „Annales de chimie et de physique" (3), XXIII. 1848; „Pogg. Ann.", LXXVIII, стр. 381 и 476, 1849.

⁵ Karl Gustav Jacob Jacobi родился 10 декабря 1804 г. в Потсдаме, умер 18 февраля 1851 г. в Берлине, был до 1827 г. приват-доцентом в Берлине, потом до 1812 г.— профессором математики в Кенигсберге; затем жил в Берлине, где был членом академии. Изобретатель гальванопластики был его братом.

зан большинством своих открытий». И действительно, эта работа привела его к удивительному результату, *что вращающаяся около оси жидкость, при известном отношении между квадратом угловой скорости, плотностью и силой взаимного притяжения частиц жидкостей, может отклониться от эллипсоида вращения и принять форму трехосного эллипсоида*¹. Этот результат пролил совершенно неожиданный свет на возможную фигуру Земли и небесных тел.

К описанным исследованиям удобно будет присоединить попытки дальнейшей разработки *теории волосности*, хотя они и не носят в той же мере математического характера, как вышеописанные работы, оставаясь в более тесной связи с наблюдением и опытом. Гаусс² удержал при объяснении этих явлений постулаты Лапласа и только постарался обосновать выводы законов волосности более строгим образом. Пуассон³, наоборот, ввел в теорию новый момент — *изменение плотности и напряжения жидкостей на поверхности*. Граф Румфорд, наблюдая плавание иголок на воде, вывел отсюда заключение, что на поверхности воды образуется как бы жидкая пленка. Тогда Пуассон показал, что всякая теория, не принимающая во внимание изменения плотности на поверхности жидкости, недостаточна для объяснения явления волосности. Каждая точка внутри жидкости, удаленная от ее границ более чем на радиус действия частиц, подвергается одинаковому воздействию со всех сторон, тогда как точка, расстояние которой от свободной поверхности меньше указанной величины, подвержена с разных сторон воздействию неодинаковых сил, вследствие чего плотность жидкости в пределах указанной сферы молекулярного действия является величиной переменной и отличается от плотности ее вне сферы. Араго (Werke II, стр. 520) высказывает сожаление по поводу отношения Пуассона к теории Лапласа. «Возникает вопрос, — говорит он, — каким образом мог Лаплас выразить явления волосного притяжения в числах, если он в своих исчислениях упустил из виду истинную и единственную причину этих явлений. Я должен признать, что это представляет собою большой математический скандал, за распутывание которого следовало бы поскорее приняться лицам, у которых для этого имеется достаточно времени и таланта, чтобы вынести решение по поводу расхождения между такими большими умами, как Лаплас и Пуассон. Здесь речь идет о чести науки». Однако в большинстве учебников опытной физики теория Пуассона рассматривалась отнюдь не как противоположность лапласовской, а только как поправка к последней, согласно которой явления во-

¹ Якоби сообщил этот результат Французской академии 20 октября 1834 г. Работа Якоби „Über die Figur der Gleichgewichts" помещена в „Pogg. Ann." XXXIII, стр. 229, 1834. Краткое изложение его исследований имеется у Шелля (Schell) в его „Theorie der Bewegung und der Kräfte" (Leipzig 1880, II, стр. 609 — 618).

² Principia generalia figurae fluidorum in statu aequilibrui, Comm. de soc. Gött, VII, 1829, Sämmt. Werke V, стр. 29.

³ Nouvelle theorie de faction capillaire, Paris 1831 (был выпущен в качестве первого тома „Traité de physique mathématique", второй — вышел в 1834 г. под заглавием „Théorie mathématique de la chaleur"); в извлечении приведено в „Pogg. Ann.", XXV, стр. 270 и XXVII, стр. 193, 1832.

236 ТЕОРИЯ ВОЛОСНОСТИ. ЭНДОСМОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

лосности должны выводиться из действия стенок трубки не на одни только прилегающие поверхности жидкости, но и на несколько более далекие слои ее. Следует отметить, что после Пуассона и математическая теория оказалась не в состоянии справиться со всеми трудностями этой проблемы — вследствие отсутствия точных данных о природе молекулярных сил, видоизменяющих плотность поверхностных слоев. Кирхгоф¹ в своих лекциях по механике заключает главу о волосности следующим образом: «У жидкости, на которую действуют капиллярные силы, давление внутри изменяется так, как будто бы этих сил вовсе не было, но на бесконечно близком расстоянии от поверхности оно изменяется бесконечно быстро. Именно, капиллярные силы, действующие на частицы, лежащие на конечных расстояниях от поверхности, взаимно уничтожаются, на поверхности же они дают бесконечно большие результирующие. Если попытаться применить это понятие, то при исследовании капиллярных явлений возникают большие трудности; мы избежали их тем, что пошли иным путем, которым впервые воспользовался Гаусс». Однако связь между капиллярными явлениями и молекулярными силами, столь затруднявшая математическую разработку первых, вызвала после долгого застоя новые *опытные исследования*, которые давали поводы надеяться, что наши знания об этих силах расширятся. Линк² опубликовал многочисленные опыты над высотой поднятия воды, спирта, эфира, серной кислоты, азотной кислоты, соляной кислоты, калийного щелока и пр., в стекле, меди, цинке и пр., Франкенгейм³ в большой работе 1835 г. попытался ввести новый специальный термин, *синафия*, для сцепления жидкостей и полагал, на основании своих опытов, что большему атомному весу соответствует меньшая синафия, а меньшей светопреломляющей способности — большая синафия. Позднее Деген⁴ доказал, что смачиваемость тела зависит от состояния его поверхности, сильно изменяясь от лежания на свободном воздухе, от трения различными телами, от полирования и т. д.

Такие же надежды и такие же трудности, как волосность, принесло открытие или, точнее, предпринятое вновь исследование *эндосмотических явлений*. Первое известие о подобном исследовании принадлежит Нолле, наблюдавшему в 1748 г. выравнивание воды и спирта через свиной пузырь⁵. Г. Ф. Парро описал этот опыт и несколько других ему подобных в своем «Übersicht des Systems der theoretischen Physik» (Dorpat 1809—1811) («Обозрение системы теоретической физики»).

¹ Kirchhoff, Vorlesungen über die mathem. Physik: *Mechanik*, Leipzig 1876, стр. 160.

² Heinrich Friedrich Link [(1767—1851) — с 1815 г. профессор ботаники в Берлине], „Pogg. Ann.“, XXIX, стр. 404 и XXXI, стр. 593, 1833 и 1834.

³ Moritz Ludwig Frankenheim (родился 29 июня 1801 г. в Брауншвейге, умер 14 января 1869 г. в Дрездене, с 1827 до 1866 г. — профессор физики в Бреле), *Die Lehre von der Cohäsion, umfassend die Elasticität der Gase, die Elasticität und Cohärenz der Flüssigkeiten und festen Körper und die Krystallkunde*, Breslau 1835.

⁴ August Friedrich Degen [(1802—1860), — профессор физики и химии в Штутгарте], *Versuche über die Netzbarkeit*, „Pogg. Ann.“, XXXVIII, стр. 449, 1836.

⁵ См. „Pogg. Ann.“, LXIII, стр. 350, 1844.

РАЗЛИЧНЫЕ ОБЪЯСНЕНИЯ ОСМОСА 237

Фишер ¹ исследовал эти явления подробнее, но странным образом связал их с химическим действием. Если завязанную с одного конца пузырь стеклянную трубку наполнить водою и погрузить в сосуд с раствором медных квасцов, то, по Фишеру, происходит только постепенный переход медной соли в воду. Введение в трубку куска серебра не изменяет явления; но если серебро заменить металлом, который осаждает медь, например железом, то жидкость в трубке, бывшая в начале опыта на одном уровне с жидкостью сосуда, начинает постепенно прибывать и часа через два стоит уже на 2—3 дюйма выше. По мнению Фишера, это явление принадлежит к разряду тех, которые были открыты Эрманом и которые доказывают тождество основных причин механического сцепления и химического сродства. Несколько лет спустя Дютроше ² пришел на основании многочисленных опытов к заключению, что *эти явления не могут быть связаны с изменениями уровней, так как через животный пузырь проходит не одна, а обе жидкости, но только с различными скоростями*. Из физиков Дютроше первый определил совершенно правильно значение этих явлений, и он же дал им название *эндосмоса* и *экзосмоса*.

Из названных ученых каждый, за исключением Парро, делал открытие независимо от других; тем не менее, первенство долгое время приписывали именно Парро. На позднейшие нападки по этому поводу он ответил заявлением, что он никогда и не думал присваивать себе первенство открытия и что при появлении работы Дютроше он сам обратил внимание Парижской академии на открытие Нолле ³. Относительно *причины эндосмотических явлений* мнения долгое время расходились. Берцелиус ⁴ сделал из опытов Фишера тот вывод, что рассматриваемые движения зависят от электрохимической противоположности между жидкостью и твердым телом. Дютроше искал сначала причину в своеобразной жизненной силе органических тканей, но когда нашел, что эти явления повторяются и при перегородках из обожженной глины, то стал приписывать эти явления особому действию *электричества*. Магнус ⁵ считал основной причиной их волосность, так же думал и Пуассон. Дютроше признавал участие этого фактора, но полагал, что явления эндосмоса не могут быть полностью объяснены действием одного этого фактора.

Над газами соответствующие явления впервые наблюдал Грегэм (Graham) ⁶ в 1830 г. Закрыв один конец открытой трубки пробкой из

¹ Nicolaus Wolfgang Fischer [(1782—1850)— практикующий врач, потом профессор химии в Бреславле], Über die Reduction eines Metalles durch einanderes und über die Eigenschaft der thierischen Blase Flüssigkeiten durch sich hindurchzulassen und sie in einigen Fällen anzuheben, „Gilb Ann.“, LXXII, стр. 300, 1822.

² René Joaquim Henry Dutrochet [(1776—1817) врач в Париже], Agent Immédiat du tnouvement vital, Paris 1876. Nouv. rech. sur l'endosmose et l'exos nose, Paris 1828; также „Annales de chimie et de physique“, XXXV и XXXVIII (более поздние статьи в тт. XLIX, LI и LX этого же журнала); „Pogg. Ann.“, X, стр. 162, XI, стр. 138; XII, стр. 617; XXVIII, 359.

³ Zur Geschichte der Endosmose. „Pogg. Ann.“, LXVI, стр. 595 и LXX, стр. 171.

⁴ Jahresberichte über die Fortschritte der Physik u. Chemie, III, стр. 198—201, 1823.

⁵ Heinrich Gustave Magnus [(1802—1870) — профессор физики и технологии в Берлине], Über die Capillaritätserscheinungen, „Pogg. Ann.“, X, стр. 153, 1827.

⁶ Phil. Mag. (3), II, стр. 175, 269, 351; „Pogg. Ann.“, XXVIII, стр. 331, 1833.

238 ДИФФУЗИЯ. КАТАЛИЗ

гипса, высушенной при 93° , он наполнял ее исследуемым газом, опрокидывал в ртуть и наблюдал время, какое требовалось для обмена газа с атмосферным воздухом, а также отношение между замещающими друг друга объемами газов. При этом он установил следующий замечательный закон: *взаимно обменивающиеся объемы газа и атмосферного воздуха обратно пропорциональны корням квадратным из плотностей обоих газов* (отнесенных к атмосферному воздуху). Подобно гипсовым пробкам действовали и органические перепонки, но только при них диффузия происходила медленнее. В приложенной Грегэмом таблице плотности и обменивающиеся объемы приведены с точностью до 0,0001.

Берцелиус (Jahresbericht, XIV, стр. 84, 1834) заметил по этому поводу, что когда опыты заключают в себе так много источников ошибок, не стоит приводить тысячных долей. Позднее Бунзен¹ тоже показал, что закон Грегэма действительно не вполне точен, так как в этих явлениях большую роль играет не только *природа перегородок, но и величины давления обоих газов*. Однако на основании механической теории газов этот закон должен быть верен, по крайней мере, для случая *свободной дальтоновской диффузии*, когда молекулярные силы перегородки не влияют на явление.

Действие молекулярных сил проявилось также в *поглощении газов твердыми телами*. Фузиньери и Беллани, констатировав большую трудность изготовления барометра, совершенно свободного от воздуха, сделали отсюда вывод, что воздух прилипает к поверхности твердых тел и остается на ней в виде неподвижного слоя. Фарадей² объяснил так называемое *каталитическое действие платины* на гремучий газ существованием сгущенного слоя воздуха на поверхности частей платины. У. Генри³ пояснил это явление, указав, что неблагородные металлы не производят каталитического действия, так как они связывают химически притянутый их поверхностью кислород. Но тогда можно было ожидать, что, быть может, и при чисто механическом сгущении газов (давлением) молекулярные силы в газовых смесях будут доведены до того, что станут действовать наподобие химических. Однако Ленц и Парро⁴, производившие в этом направлении опыты над смесями водорода и кислорода, пришли к определенно отрицательным результатам. Отсюда был сделан вывод о ничтожности находящихся в нашем распоряжении механических сил, по сравнению с величиной молекулярных сил. Такому представлению соответствовали и данные измерения *сжимаемости жидких тел*. После многих тщетных попыток Эрстеду⁵, наконец, удалось в 1822 г. получить более правильные данные о сжимаемости и упругости воды и других жидкостей. Этому он достиг тем, что производил давление не только на внутренность сосуда, но и на внешнюю поверхность последнего, чем было устранено растяжение

¹ Bunsen, Gasometrischen Methoden, Braunschweig 1837.

² Philosophical Transaction, 18 4; „Pogg. Ann“, XXXIII, стр. 140, 1834.

³ Phil. Mag. (3), VI, стр. 351; „Pogg. Ann.", XXXVI, стр. 150, 1835.

⁴ „Pharmac. Centralb.", № 55, 1834.

⁵ Denkschriften d. Kopenhagener Soc., 1822; „Pogg. Ann.", IX, стр. 603, 1827; XII, стр. 158, 513, XXXI, стр. 361.

ЯВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ 239

сосуда³. Как и предполагали, для сжимаемости воды по отношению к примененному давлению получилось очень маленькое число, именно при увеличении давления на 1 ат Эрстед получил уменьшение объема воды на 0,000047 первоначального объема. Несколько большее число было получено спустя несколько лет Колладоном и Штурмом², а именно 0,0000513.

В это же время стали изучать явления движения жидкостей под влиянием молекулярных сил. Савар³ первый наблюдал своеобразные явления на струях вытекающей воды. Описывая свое открытие, он говорит, что водяной луч, вытекающий из круглого отверстия в тонкой стенке, остается светлым только у самого выхода, а затем суживается, становится мутным и состоит из ряда продольных утолщений, поперечник которых больше диаметра выходного отверстия. Утолщения в непрозрачной части луча образуются из отдельных капель, которые принимают такую форму. Они образуются вследствие периодического ряда пульсаций, следующих друг за другом столь быстро, что они воспринимаются ухом как музыкальные тоны: скорость пульсации находится в прямом отношении к скорости вытекания и в обратном к диаметру отверстия. Когда два сосуда свободно опорожняются под равным давлением и водяные струи их направлены прямо навстречу друг другу, то истечение из обоих сосудов происходит одинаково, будут ли отверстия равны между собою или же нет, и имеют ли сосуды одинаковую или различную вместительность. Когда уровни воды в обоих сосудах поддерживаются на одной и той же высоте, то на месте встречи обоих лучей образуется плоский водяной слой; при разных же высотах, этот слой становится коноидальным или эллипсоидальным.

Наблюдая протекание газов по длинным трубкам, Баадер с удивлением заметил в 1805 г., что сопротивление, оказываемое трубками, сравнительно велико. Д'Обюиссон⁴ в результате тщательных опытов нашел, что это сопротивление пропорционально квадрату скорости газа и почти пропорционально длине трубки (оно возрастает несколько медленнее последней). Присасывание пластинок током воздуха, направленным на них из трубки, было, говорят, впервые замечено рабочим на литейном заводе Фуршамби (во Франции); Клеман⁵ сообщил об этом явлении и правильно его истолковал.

Эти, а равно и многие другие им подобные, а также более специальные опыты убедили ученых в значительной распространенности дей-

¹ Кантон применил этот прием уже в 1761 г., но при этом сжатие производил воздухом, который, вероятно, отчасти растворялся в воде. Эрстед избежал этой ошибки, сжимая воду водою же.

² „Annales de chimie et de physique”, XXXVI, стр. 113 и 225, 1827; „Pogg. Ann.”, XII, стр. 39, 161. Исследования Колладона и Штурма Парижская академия увенчала премией. В мемуаре впервые применено название *пиезометр*.

³ „Annales de chimie et de physique”, LIII—LV; „Pogg. Ann.”, XXIX, стр. 356 и XXXIII, стр. 451, 520, 1833.

⁴ Jean François d'Aubuisson du Voisins [(1769—1841), Тулуза, горный инженер], Sur la résistance que l'air éprouve dans les tuyaux de conduite; „Annales de chimie et de physique”, XXXIV, стр. 383, 1837.

⁵ „Annales de chimie et de physique”, XXXV и XXXVI, 1827; „Pogg. Ann.”, X, стр. 269, 1827.

240 УЧЕНИЕ О ВОЛНАХ БР. ВЕБЕР

ствия так называемых молекулярных сил, показав, что во всех физических явлениях, где замешаны действия на близком расстоянии, необходимо считаться с возможным влиянием подобных сил и принимать его в расчет. Экспериментальной физике даже удавалось во многих случаях изолировать действия этих молекулярных сил и очень правдоподобно объяснить ими явления. Но до ясного представления об этих силах, об их связи с понятием о материи и других элементарных силах ее тогда не дошли. Наоборот, чем больше стремились к созданию физики молекул, чем внимательнее изучали действия так называемых молекулярных сил, тем больше и больше трудностей возникало на пути к молекулярной физике.

УЧЕНИЕ О ВОЛНАХ И АКУСТИКА (приблизительно от 1820 до 1840 г.). Учение о волнообразном движении имело очень своеобразную судьбу вплоть до 1825 г. Водяные волны наблюдались с интересом еще до Аристотеля, и интерес к ним не исчезал и потом. Но до опытного исследования их и до опытной теории волн, — если не принимать в расчет единичных более специальных указаний, обративших на себя мало внимания, — дело не доходило. Волнообразное движение и стоячее колебание воздуха, струн и т. п., которые мы ощущаем, как звук, составляло со времен Ньютона одну из любимых тем наиболее выдающихся математиков; их упрощенные исходные положения, принятые в основание математической дедукции, так мало соответствовали сложным условиям действительности, и согласие их выводов с опытными фактами было так незначительно, что ценность их работ оказалась настолько же сомнительной для физики, насколько они были безупречны с математической стороны. Но когда трудами Френеля волновая теория эфира была построена на столь прочных основаниях, наступила пора сделать и для весомой материи то, что удалось для невесомой: перед экспериментальной физикой возникла настоящая задача изучить путем наблюдения волнообразное движение хотя бы в такой мере, чтобы создать необходимую основу для последующего развития теории. Эта задача была блестяще и в законченном виде выполнена братьями Вебер¹ в их классическом сочинении *«Wellenlehre auf Experimente gegründet, oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen»* (Leipzig 1825) («Учение о волнах, основанное на опыте, или о волнах капельножидких тел с применением

¹ Wilhelm Eduard Weber родился 24 октября 1804 г. в Виттенберге. С 1814 г. посещал школу сиротского дома в Галле, а потом там же университет. В последние годы своего пребывания здесь он работал со своим старшим братом (Ernst Heinrich Weber родился 24 июня 1795 г. в Виттенберге, умер 26 января 1878 г. в Лейпциге, профессор физиологии в Лейпциге) над „Учением о волнах“, которое было ими опубликовано в 1825 г. В 1828 г. Вильгельм стал экстраординарным профессором в Галле, в 1831 г. — ординарным профессором физики в Геттингене. В 1837 г. он вместе с другими известными геттингенцами был отставлен от должности. До 1843 г. жил частным лицом в Геттингене в тесном научном общении с Гауссом. До 1819 г. оставался профессором физики в Лейпциге, откуда опять перешел на старое место в Геттинген. Вместе со своим третьим братом [Eduard Friedrich Weber (1806—1871)—анатом в Лейпциге] Вильгельм издал „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge“ (Göttingen 1836).

к звуковым и световым волнам»). Мы постараемся воздать должное значению этой работы, изложив здесь вкратце ее содержание¹.

Существует два вида колебательных движений: *поступательное и стоячее. Поступательное равнозначно с волнообразным движением.* Волнообразное движение принадлежит к числу наиболее распространенных явлений природы, тогда как стоячие колебания замечены до сих пор лишь на звучащих телах. *Для возбуждения стоячих колебаний есть два пути:* либо все части тела приводят в такое положение, что все они одновременно и с одинаковою силой стремятся выйти из него, — это — путь, которым следовали до сих пор математики, но которому редко следует природа, — либо направляют навстречу друг другу с одинаковою силой много одинаково широких волн, ширина которых составляет какую-либо часть колеблющейся линии или поверхности. (На этот последний путь мы обращаем особенно внимание)².

Франклин первый удовлетворительно объяснил образование водяных волн ветром. По его мнению, воздух прилипает к воде, поэтому ветер, действуя на поверхность последней, гонит воду перед собою. Но так как при этом верхние частицы воды увлекают за собою нижние, то движение воды и воздуха становится все более медленным, пока напор последующих частиц воздуха не оторвет предшествующих от воды. После этот напряжение постепенно ослабевает, и игра начинается вновь. Согласно теории Веберов, подобным *трением между водою и воздухом* вызываются лишь *самые маленькие волны* (рябь) на поверхности больших волн; последние же производятся исключительно *ударом или давлением ветра* на воду. Постоянное затем нарастание этих волн зависит от четырех причин: 1) от продолжающегося действия ветра на те части волны, которые перемещаются в его направлении; 2) от слияния нескольких волн, идущих в одном и том же направлении, в одну волну; 3) от давления, производимого каждой волною на предшествующую и последующую волну; наконец, 4) от перекрещивания волн, идущих в противоположных направлениях. Как будет показано дальше, в передней половине волны все частицы находятся в восходящем движении, в задней половине — в нисходящем. Волна обращена к ветру больше задней половиной своей, поэтому здесь ветер сильнее гонит вниз частицы ее, тогда как подъему передней половины волны он мало мешает, ибо здесь он действует под острым углом к волне. С волнами, идущими навстречу ветру, происходит как раз обратное; поэтому волны вообще идут с ветром и суммируются в его направлении. Всякая волна при своем передвижении возбуждает на

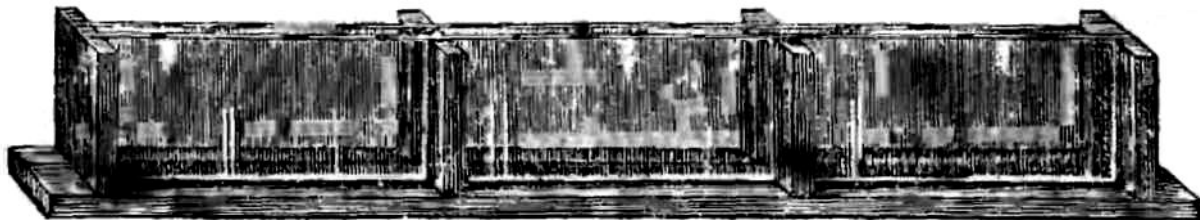
¹ Хладни, принимавший во внимание больше результаты волнообразного движения, чем отдельные детали последнего, рекомендовал „Учение о волнах"... Веберов („Pogg. Ann.", V, стр. 345, 1825) как превосходное сочинение, необходимое для изучения хладниевых фигур, а также вообще для акустики, богатое новыми замечательными результатами и правильно поставленными опытами. Я придерживаюсь в дальнейшем по возможности терминологии этой работы.

² Следует отметить, что *шириною* братья Вебер называют ту величину волны, которую мы теперь называем *длиною*; а под *длиною* они подразумевают протяжение волны, перпендикулярное к ее ширине.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ВОЛН

оставляемом ею месте новую волну; эта новая волна, передвинувшись на свою ширину, в свою очередь, порождает позади себя новую волну; и таким образом за первой волной может последовать 20—40 новых, и все они передвигаются в одном направлении с первой. Таким обратным *действием волны* на последующие, от которого, между прочим, зависит увеличение волн, объясняется *большая правильность* в чередовании волн, несмотря на неправильность толчков ветра.

На море часто замечается множество линейных гряд волн, пересекающихся друг с другом под различными углами. В местах пересечения таких гряд образуются, конечно, более высокие волны, исчезающие по мере передвижения гряд и вновь возникающие; оттого кажется, будто волны здесь нисколько не перемещаются, а только поднимаются и опускаются. Кроме того, большие волны, распространяющиеся, как будет показано, быстрее мелких, с виду как будто катятся под поверхностью мелких. От перекрещивания же волн получается их зазубренность. Большие волны могут образоваться лишь при большом протяжении водной поверхности и при значительной глубине.



Черт. 10.

Поднятие над поверхностью есть лишь результат распространяющегося далеко вглубь внутреннего движения жидкости. Если волна образовалась в глубине, то, дойдя до мелкого места, она быстро нарастает в высоту, передняя ее половина становится более крутою, и волна *ломается*. С точки зрения этой теории легко объяснить *успокоение волнения при выливании на воду масла*, что наблюдалось много раз. Масло, быстро распространяясь на поверхности воды, мешает образованию первых волн и усилению или сохранению уже существующих.

Для экспериментального определения формы волн капельных жидкостей и происходящих в волнах отдельных перемещений частиц братья Вебер употребляли устроенную ими ванну, изображенную на черт. 10. Чтобы наблюдать *форму поверхности волны*, когда ванна наполнена маслом, берут прямоугольный кусок аспидной доски, посыпанной мукою; если же ванна наполнена водою или смесью спирта с водою — такой же кусок матовой стеклянной пластинки. При опускании такой пластинки в ванну параллельно ее продольным стенкам получается линия уровня, которую отмечают чертой. Затем с одного конца в ванну пускают каплю жидкости и, как только первая возвышенная часть волны достигнет середины пластинки, последнюю выдергивают со скоростью, превышающей скорость распространения волны; тогда передняя часть холма волны отпечатывается совершенно правильно. Заднюю часть ее получить уже труднее, — для этого нужно пластинку быстро погрузить в ванну и тотчас же быстро вынуть.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН 243

*По отношению к своей ширине волны необыкновенно плоски*¹. Чтобы наблюдать пути колеблющихся в волне частиц, братья Вебер наполняли свою ванну мутной водой (из реки Заала возле Галле) с взвешенными в ней мелкими частицами твердых тел и наблюдали движения частью невооруженным глазом, частью при посредстве простого микроскопа с фокусным расстоянием в $3\frac{1}{2}$ линии. При помощи маленького пружинного циркуля, концы которого помещались между микроскопом и стеклянным боком ванны, они точно определяли размеры путей.

Пути колебаний частиц жидкости, когда последующие друг за другом холмы и долины волн имеют одинаковые или почти одинаковые очертания, представляются совсем или почти совсем замкнутыми, уподобляясь эллипсам, расположенным в вертикальной плоскости. Когда же холмы и равнины не равны, то пути частиц не замкнуты. В первом случае близ поверхности эллипсы *походят на круги*, по мере углубления они становятся все более и более плоскими и, наконец, превращаются в *прямые горизонтальные линии*. При этом все размеры уменьшаются; более скорое уменьшение вертикальных размеров вызывается, по-видимому, дном сосуда. У самой поверхности *вертикальный диаметр пути частицы равен высоте волны*, а горизонтальный диаметр не находится в каком-либо определенном отношении к ширине волны. Частицы одного уровня, расположенные горизонтально по направлению волны, приходят в движение одна вслед за другой, так что в сфере одной волны имеется лишь немного частиц, которые находились бы одновременно в одинаковых точках своих путей²; наоборот, частицы, расположенные по вертикали друг над другом, по-видимому, приходят одновременно в соответственные точки своих путей.

За то время, в течение которого частица жидкости описывает весь свой путь, волна, в которой эта частица содержится, перемещается на расстояние своей ширины; поэтому частица в течение данного времени столько раз описывает свой путь, сколько волн проходит через то пространство, в котором она движется.

Скорость распространения волн ни в коем случае не зависит только от их ширины, как утверждали Ньютон, с'Гравезанд, д'Аламбер, а в последнее время и Герстнер, но от всего ее размера, т. е. *от ширины и высоты*. Только длина волн не имеет непосредственного влияния на их скорость; однако, когда при распространении волн их длина увеличивается, то вместе с тем уменьшается одновременно их скорость и высота, и наоборот. Волны, предоставленные самим себе, имеют свою длину, ширину и высоту таким образом, что первые две величины увеличиваются за счет последней. В *волнах упругих жидкостей высота и ширина совпадают в один размер, в толщину*. Так как ширина может увеличиваться только за счет высоты, то понятно, что волны упругих жидкостей не могут изменяться в ширине, пока они не переходят

¹ Gerstner (Theorie der Wellen, Prag. 1804) показал, что кривизна волны имеет вообще вид циклоиды; в общем случае это верно, но при особых условиях передняя часть волны может иметь совершенно иной вид, чем задняя.

² Ньютон, с'Гравезанд и д'Аламбер полагали, что камень, падая на воду, выжимает вокруг себя водяной холм, который затем всеми частями одновременно опускается вниз и превращается в долину.

244 ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН. СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ

в другую среду, что признано и всеми физиками. *По этой же причине и скорость этих волн не зависит от их величины, а лишь от упругих сил среды, тогда как волны неупругих жидкостей не зависят от плоскости последних.* Все это обуславливается тем, что волны первого рода распространяются по трем направлениям, а волны второго — только по двум. При *перекрещивании волн* холмы и долины соединяются в более высокие холмы и более глубокие долины, но затем они снова расходятся, принимая прежние размеры и прежние направления. Перекрещивание сопровождается некоторым замедлением, затем прежние скорости восстанавливаются.

Волна, вызванная падением столба жидкости в одном конце ванны, распространяется до другого конца и отражается здесь таким образом, что холм опять предшествует долине, так что по отношению к стенке сосуда обе половины теперь расположены в обратном порядке по сравнению с первой волной. *Таким образом, при отражении положение каждой волны изменяется на обратное, хотя отражение вызывается отнюдь не упругостью жидкости, а ее тяжестью.* Если в сосуд эллиптической формы налить ртути и затем начать капать ртутью в один из фокусов эллипса, то образуется непрерывный ряд волн, отражающихся в другом фокусе, и тогда на поверхности можно видеть рядом волны во всех тех стадиях, которые последовательно претерпевает одна волна на протяжении времени. Когда волна падает на перегородку с отверстием, она частью отражается, частью распространяется далее; Вебер показал, что при этом, подобно тому, как это имеет место в свете при интерференции, образуются гиперболические линии пересечения, соответствующие интерференционным полосам света.

Так как стоячее *колебание* есть не что иное, как непрерывно повторяющееся правильное перекрещивание волн, то его легче всего можно воспроизвести, возбуждая через правильные промежутки времени волны одинаковой ширины и отражая их от правильных стенок сосуда таким образом, чтобы холмы и долины перекрещивались между собою дважды или много раз в точках, расположенных симметрично, и чтобы самые высокие и самые низкие точки всех этих перекрещиваний находились на равных расстояниях друг от друга. В таких волнах частицы описывают не замкнутые в себе кривые, но движутся по одному и тому же пути вперед и назад. *Стоячие волны, хотя и неправильные, образуются также почти всегда, когда сосуд с жидкостью подвергают длительной встряске.*

После такого совершенно оригинального и исчерпывающего исследования волн капельных жидкостей братья Вебер обращаются к рассмотрению волн, применительно к звуку и свету. Однако здесь, отчасти в силу свойств самой проблемы, исследование уже не блещет ни прежней оригинальностью, ни прежней законченностью. *Хладни отличал в звучащих телах три вида колебаний: поперечное, продольное и вращательное; но Савар пытался доказать, что такое различие не имеет значения.* Еще ранее 1819 г.¹, с целью установить теорию

¹ Mém. relatif à la construction des instruments à cordes et à archet, „Annales de chimie et de physique", XII, 1819.

струнных и смычковых инструментов, Савар принялся за более углубленное исследование явлений *резонанса*. Его замечания о значении резонансного ящика, подструнной рукоятки, кобылки и шейки этих музыкальных инструментов получили большое теоретическое значение. Однако скрипка, построенная по его принципам в форме гробового ящика и встретившая даже некоторое одобрение со стороны комиссии Парижской академии, не побудила скрипичных мастеров отказаться от подражания старым итальянским мастерам и строить свои инструменты на теоретических началах Савара. Вызванные стремлением создать теорию музыкальных инструментов новые исследования Савара о резонансе твердых тел, хотя и дали новые и важные результаты, но сделанные из них выводы опять-таки не встретили полного признания. Для того чтобы определить влияние скрипичной рукоятки, Савар прикрепил к концам длинной доски в поперечном направлении две других дощечки меньшей величины. Когда, затем, одну из этих пластинок, держа ее горизонтально, он привел в колебание смычком, то нижняя пластинка дала совершенно те же звуковые фигуры, что и верхняя; таким образом колебания одной пластинки передавались другой через всю длину доски без изменения. После этого Савар усложнил этот опыт следующим образом ¹. Он соединил разнообразным образом ряд пластинок неодинаковой длины из стекла и дерева, но так, чтобы в каждой паре звенья были перпендикулярны друг другу. Когда любая из этих пластинок приводилась смычком в поперечное колебание, то непосредственно связанная с нею пластинка приходила в продольное колебание, и последнее передавалось без изменения направления и даже скорости всем остальным пластинкам. Получив аналогичные результаты на ряде других видоизмененных опытов, Савар счел возможным вывести как общий закон следующее заключение: *колебания передаются от одного тела к другому всегда таким образом, что они сохраняют направление, параллельное прежнему; поэтому все виды колебаний — поперечное, продольное и вращательное — следует рассматривать, как частные случаи единого общего для всех тел вида движения, производимого молекулярными колебаниями, которые видоизменяются соответственно направлению действующей силы*. Братья Вебер согласились с тем, что резонанс может вызывать в телах колебания во всевозможных направлениях; при этом отметили, что в *самостоятельно и свободно звучащих телах все-таки встречаются только три, охарактеризованные Хладни формы колебания* ². Они, со своей стороны, считали необходимым (и для стоячих колебаний, принимая во внимание первоначальное направление волн) различать *двоякого рода колебания*:

¹ Mém. sur la communication des mouvements vibratoires entre des corps solides, „Annales de chimie et de physique“, XIV, 1820; „Gilb. Ann.“, LXVIII, стр. 113, 1821.

² Wellenlehre, II Hauptteil; I Abt., Abschnitt V. Пюассон (Sur les vibrations des corps sonores „Annales de chimie et de physique“, XXXVI, 1827) тоже принял для звучащих тел три хладниевых вида колебаний, но присоединил к ним четвертый. К последнему он относит колебания, происходящие перпендикулярно к длине звучащего тела и вызываемые сжатиями и расширениями, а не изгибанием краев тела.

246 КОЛЕБАНИЯ СТРУН И СТЕРЖНЕЙ

первичные, где колебания (производимые утолщением и утоньшением тела) по своему направлению совпадают с направлением распространения волны, и *вторичные*, где колебания (вызванные боковыми изгибами) совершаются перпендикулярно к этому направлению ¹.

Вторичные колебания натянутого каната были полностью и успешно изучены Эйлером ². Они еще более всего похожи на водяные волны. Здесь каждому стоячему колебанию предшествует поступательное, которое мало-помалу успокаивается, но никогда вполне не уничтожается, так что стоячее колебание всегда связано с некоторым волнообразным движением. Общеизвестный факт, что характер звука струны зависит от места, где на нее действует удар, определяется, конечно, как различием всей фигуры колеблющейся струны, так и одновременно существующими остатками поступательных колебаний. Подобное же явление повторяется на *металлических прутьях, стеклянных палочках и стеклянных трубках*, приведенных во вторичные колебания; и здесь, без сомнения, возникают волны, которые, встречаясь через правильные промежутки, производят стоячее колебание; но только скорость распространения волн здесь другая, гораздо большая, чем в струне.

Рассматривая *поступательные первичные колебания воздуха*, братья Вебер нашли замечательное явление, что поступательная волна может оставлять позади себя воздух в покое, что, например, стук в какой-либо точке воздуха бывает слышен лишь в течение короткого мгновения, но никак не все время, пока волна переходит далее от слоя к слою. Они объясняют это явление следующим образом. Если вообразить себе по середине трубки две частицы воздуха более плотными, чем все остальные, то это уплотнение будет выравниваться в обе стороны; если же все частицы одинаково плотны, но две средние частицы сторону, одновременно действуют оба условия, то вперед будет распространяться уплотнение, а назад разрежение; если же, как это и бывает при сотрясении воздуха, направленном в одну сторону одновременно действуют оба условия, то вперед будет распространяться удвоенное уплотнение, а в обратном направлении уплотнение и разрежение будут уравнивать друг друга и создадут состояние покоя.

Звучащий воздух в органной трубе, как и во всяком другом *духовом инструменте*, а также и в *человеческом голосовом аппарате*, находится в *стоячем первичном колебании*. Процесс, посредством которого он приводится в стоячие колебания, тот же, как в воде и как при вторичных колебаниях струн. Именно, в органной трубе колебания воздуха отражаются не только при закрытом, но и при открытом верхнем конце, но только в первом случае волна сохраняет свой характер, а во втором она обращается, т. е. из сгущающей она превращается в разрежающую, и наоборот. *Во флейтах* воздух втекает через щель не равномерно, а попеременно сгущается и разрежается и таким образом приходит в состояние колебания. Периодические толчки воз-

¹ Wellenlehre, II Hauptteil, I Abt, Abschnitt I.

² L. Euler Acta Petrop. 1779 появилось в 1783 г.

духа при быстром втекании его через отверстие можно наблюдать при топке печей: если отверстие в печной дверце сделать достаточно узким, то воздух попеременно то втягивается, то задерживается, производя таким образом пульсацию. Братья Вебер полагают, что подобный процесс является причиной звучания трубки, внутри которой горит водородное пламя.

Г. Вебер¹ полагает, что в языковых трубах, язычок не является источником звучания тела, а лишь механическим средством для попеременного открывания и закрывания отверстия. Во всяком случае, его движения зависят не столько от присущей ему упругости, сколько от движения воздушных волн, пробегающих вперед и назад по длинной трубке: язычок не сам собою движется, а совершает вынужденные колебания. Впрочем, теория духовых инструментов все еще сильно нуждается в более полной разработке, особенно слабо она до сих пор была разработана с математической стороны. Лангранж откровенно признавался, что его формулы еще очень несовершенно объясняют связь наблюдаемых явлений с размерами духовых труб и положением их отверстий. Работы же Пуассона² показали, что а priori нельзя правильно определить даже самого низкого основного тона духовой трубы.

Рассматривая в последнем отделе своего сочинения *волны в их отношении к свету*, братья Вебер указывают на необоснованность возражений против волновой теории, высказанных Ньютоном, а также позднее Био и Малюсом. «Что касается учения Ньютона о свете, — говорят они на стр. 574, — то вместе со всеми физиками и вместе с Био его следует, действительно, признать мастерской абстракцией из опыта, но теория истечения является чисто вспомогательным средством, придуманным для того, чтобы придать выведенным оптическим законам наглядность без малейшего, однако, притязания на то, чтобы это наглядное объяснение соответствовало действительной сущности света. С этой точки зрения теория истечения, конечно, полезна, хотя и не вполне достигает цели, оставляя без объяснения явления интерференции и дифракции. Если же необходима такая гипотеза о сущности света, которая привела бы учение о свете в согласие с другими естественными силами и их законами, и если вообще не считать поиски подобной гипотезы пока преждевременными, то, конечно, волновой теории света должно быть отдано решительное предпочтение перед теорией истечения»³.

Исследование братьев Вебер приятно поражает не только *искусной постановкой опытов, но и ясностью взгляда на сущность процессов*, равно как и *наглядностью их изображения*. Исследование Савара, будучи равнозначным этой работе в первом смысле, уступает ей в про-

¹ Versuch einer geordneten Theorie der Tonkunst, Mainz 1824.

² Sur la théorie des instruments à vent; Mém. de l'Acad., X, 1819. Вышло в свет в 1824 г., стр. 19.

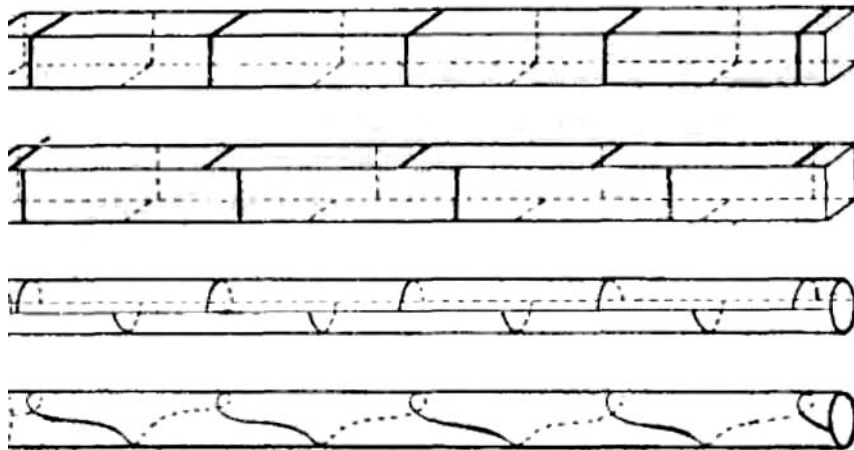
³ Для тогдашнего состояния оптики очень характерна осторожная мягкость выражений, при всей твердости убеждения, равно как и то обстоятельство, что в пользу волновой теории приводятся лишь отражение и интерференция без упоминания о двойном преломлении поляризации.

248 УЗЛОВЫЕ ЛИНИИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

чих отношениях. Новые взгляды Савара¹ на колебания тел, вызываемые резонансом, побудили, его к дальнейшему исследованию звучащих тел, в которых колебание вызывается резонансом. Опыты над *узловыми линиями твердых тел*, начатые им в 1820 г. и производившиеся в 1824 г., он закончил в 1837 г.² Если посыпать поверхность продольно колеблющегося стержня тонким сухим песком, то получается известное число узловых линий, расположенных перпендикулярно к длине бруска, причем на одной стороне стержня эти линии располагаются так, что они оказываются по середине промежутков между узловыми линиями противоположной стороны. Число этих узловых

линий тем больше, чем толще, при прочих равных условиях, стержень. На четырехугольных и цилиндрических стержнях узловые линии противоположных сторон могут соединяться в винтовые линии, как показывают приложенные рисунки. Так как зависимость узловых линий от размеров стержня та же, что и «при поперечных колебаниях, то Савар пришел к выводу, что *узловые линии вызываются поперечными колебаниями, сопровождающими продольные*, и объяснил это следующим образом (черт. 11). Когда продольно колеблющийся стержень сокращается по своей длине, образуются изгибы, как при поперечных колебаниях, но эти изгибы *не* могут перейти на противоположную сторону, так как следующее за сокращением растяжение уничтожает изгиб. Таким образом, изгиб происходит как половинное колебание. Взаимное расстояние узловых линий даже при *одном и том же опыте* не везде одинаково, что происходит вследствие неоднородности внутреннего строения тел. Если равномерный по своей структуре стержень немного согнуть, а затем перед опытом более или менее выправить, то узловые линии изменяются; для этого также достаточно сжать брусок посередине пальцами.

Поразительна величина силы, развиваемой продольными колебаниями, если ее сравнить с незначительностью тех усилий, которыми она вызывается. Так, например, если по стеклянной трубке в 2—3 м длины с поперечником в несколько миллиметров слабо провести мокрыми пальцами, она начинает быстро втягивать в себя лежащий



Черт. 11.

¹ Felix Savart родился 30 июня 1791 г. в Мезьере, умер 16 марта 1841 г. в Париже, был в 1816 г. врачом в Страсбурге, потом профессором физики в частном учебном заведении в Париже, наконец, хранителем физического кабинета в Collège de France.

² „Annales de chimie et de physique“, XIV, XXV. LXV, стр. 337; „Gilb. Ann.“, LXVIII, стр. 115, 1821; „Pogg. Ann.“, XIII, стр. 402 и LI стр. 555. 1840.

ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА В ЗВУЧАЩИХ ТРУБАХ 249

в ней свинцовый шарик даже вопреки силе тяжести. Свободно подвешенный шарик отталкивается с большой силой концом колеблющегося стержня. Для того чтобы стеклянный стержень длиной в 0,968 м и толщиной в 29,10 мм получил удлинение, вызываемое в нем продольными колебаниями, нужно было бы приложить к нему силу не менее 900 кг; действительно, это удлинение составляет 0,210 мм. Поэтому стеклянные трубки и палочки в 2—3 м длины очень легко разламываются, когда колебания достигают известной величины.

Для наблюдения движения воздуха в звучащих трубах Савар употреблял натянутые на кольца и обсыпанные песком перепонки, которые подвешивались на тонкой нити, подобно чашкам весов, и опускались в полость труб. Этот прибор был усовершенствован Гопкинсом¹, который применил его для более точных опытов. Последний состоял из стеклянной трубки, в верхней части которой для увеличения и уменьшения длины перемещалась плотно пригнанная металлическая трубка; внутри трубки была установлена маленькая рамка, обтянутая тонкой перепонкой, которую можно было перемещать по желанию выше и ниже. Кроме того, изменяя натяжение, перепонку можно было настраивать на тон трубы, так что она слегка резонировала. Этим путем Гопкинс подтвердил вообще прежние данные касательно основных тонов и обертонов, как в открытых, так и в закрытых трубах, но, кроме того, установил, что движение в узловых точках вследствие неполного отражения волн не сводится к нулю, а только снижается до некоторого минимума, что *в закрытых трубах расстояние первого узла от нижнего открытого отверстия не равно, а несколько больше $\frac{1}{4}$ волны, а в открытых трубах расстояние первого узла от верхнего открытого конца заметно меньше $\frac{1}{4}$ волны*. Прежние акустики-математики не обращали внимания в своих исследованиях на передачу движения веществу, находящемуся у конца трубы, и потому помещали узлы прямо в конце трубы. Это *и было причиной неполного согласия их результатов с опытом*, и в то же время этим объясняется, почему они не могли вывести из своих формул *внезапного прекращения звучания* с прекращением действия внешней возбуждающей причины. Гопкинс объясняет это ослабление звука отражением, указывая, что после 5—6 отражений сила звука падает до незаметной величины.

По примеру Савара Гопкинс вызывает колебания воздуха в трубах не вдуванием его, которое помешало бы наблюдению с перепонками, а при помощи поставленной под трубой стеклянной пластинки, которая приводилась в колебание смычком. При этом оказалось, что когда труба покрывала различно колеблющиеся части пластинки, получались несомненные признаки *интерференции звука*. Мы уже упоминали, что Юнг охарактеризовал толчки, наблюдаемые при созвучии тонов, как явление интерференции. В. Вебер наблюдал в 1826 г.² неодинаковость силы звука колеблющегося камертона или даже прута по различным направлениям и объяснил это явление тоже ин-

¹ *Hopkins*, Philosophical Transactions Cambr. Soc, V, стр. 234; „Pogg. Ann." XLIV, стр. 246 и 603, 1838.

² „Schweigger's Journ." XLVIII. стр. 385—430, 1826.

250 ТЕОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В ЖИДКОСТЯХ

терфенцией волн, *исходящих* от противоположных сторон прута. Гопкинс добился полного уничтожения колебаний, прямого погашения

одного тона другим при помощи вилообразной трубки , оба колена которой он поставил против противоположно колеблющихся частей звучащей пластинки: при этих условиях перепонка, натянутая на верхнем конце трубки, оставалась в покое. Впрочем, уже несколько ранее Роберт Кен ¹ достиг той же цели, пропуская тон через трубку с

ответвлением , расходящиеся ветки которой отличались друг от друга по своей длине на $\frac{1}{2}$ волны.

Распространение звука в жидкостях, т. е. существование колебаний (первичных), заключающихся в уплотнениях в разрежениях, долгое время отрицалось, так как жидкости тогда казались несжимаемыми. Поэтому, когда на опытах со слухом людей и животных был доказан факт прохождения звука через воду, возможность его объясняли упругостью заключенного в воде воздуха. Правда, Нолле ² удались аналогичные опыты и с водою, совершенно освобожденной от воздуха; а с другой стороны Франклин ³, на основании прямых опытов, утверждал, что звук в воде распространяется гораздо быстрее, чем в воздухе; но эти факты находились в прямом противоречии с тогдашними данными о сжимаемости и упругости воды. Лишь после того, как сжимаемость и упругость жидкостей были установлены, явилась возможность свободнее исследовать и вопрос о звукопроводности воды. Савар путем наблюдений над пластинками, плавающими на воде и посыпанными песком, установил в 1826 г. ⁴, что характер прохождения звука в жидкостях тот же, что и в твердых телах. При этом оказалось, что вибрации звучащего тела передаются пластинкам первичными колебаниями из воды как снизу вверх, так и в горизонтальном направлении, т. е. во всевозможных направлениях. Точное определение скорости распространения звука в воде было произведено в следующем году Колладоном и Штурмом ⁵. Последние спустили на одной станции в воду колокол и затем вызывали звук ударами молотка по этому колоколу, а на другой станции для восприятия звука погрузили в воду нижней частью слуховую трубку, расширенное отверстие которой было затянато перепонкой; верхняя же суженная часть этой трубки выдавалась над водой, и к ней прикладывалось ухо наблюдателя. Без этой трубы звуки в воздухе на второй станции совершенно не были слышны. Опыты эти производились на Женевском озере между

¹ Phil. Mag. (3), VII, стр. 301; „Pogg. Ann.“, XXXVII, стр. 435, 1836.

² „Gilb. Ann.“, XLIV, стр. 346, 1813.

³ Letters by Dr. Franklin. № 2, XLIV от 20 июля 1762 г.

⁴ Sur la communication des mouv. vibr. par les liquides, „Annales de chimie et de physique“, XXXI, 1826.

⁵ „Annales de chimie et de physique“, XXXVI, стр. 236, 1827. Эта статья составляет часть увенчанного премией сочинения о сжимаемости жидкостей. Jean Daniel Colladon — профессор механики в Женевской академии. Jacob Karl Franz Sturm (1803—1855) сначала — частный преподаватель в Женеве, потом (1830) — профессор математики в Париже и по смерти Пуассона — профессор механики в Сорбонне.

ПРЕДЕЛ СЛЫШИМОСТИ. СИРЕНА 251

Тононом и Роллем, где озеро, при ширине в 14 000 м и глубине в 140 м, имеет почти плоское дно. Температуры на обеих станциях были соответственно 7,9 и 8,2°; расстояние между ними — 13 487 м. При 40 наблюдениях время распространения звука определялось в 9,25—9,5 сек.; следовательно, скорость распространения оказалась равной 1435 м в секунду. Теоретическое исчисление этой скорости по наблюдаемой сжимаемости воды, без принятия в расчет тепловой постоянной Лапласа, дало 1528 м; отсюда следует, что для жидкостей эту постоянную можно считать очень близкой к единице.

После того как звукопроводность жидкостей была доказана, попытались привести самые жидкости в звуковые колебания. С этой целью Каньяр-Латур¹ продувал трубки под водою с помощью каучукового мешка, либо приводил в движение сирену, пропуская через нее струю воды, либо, наконец, натирал мокрой тряпкой стеклянные наполненные водою трубки (запаянные снизу или загнутые сифоном). Трубка в 1 м длины с запаянным нижним концом дала, таким образом, 385 кол/сек, другая, изогнутая сифоном, — 775 кол/сек. Вычисленная отсюда скорость распространения звука в воде дала отклонение от полученного непосредственным путем числа Колладона и Штурма; подобные отклонения продолжают наблюдаться до последнего времени.

Еще большее значение и вполне заслуженную известность имеют опыты Савара о пределах слышимости, так как они впервые производились при помощи прибора, дающего возможность непосредственно определять число колебаний какого-нибудь тона. До этого времени прямой подсчет числа колебаний был невозможен, и число колебаний исчислялось лишь косвенным путем. Колесо Станкари едва ли применялось кем-либо другим кроме самого изобретателя, да и он, по-видимому, не получил с ним точных результатов. Первый механический счетчик звуковых колебаний был устроен в 1819 г. Каньяр-Латуром², который дал своему прибору очень мягкое название сирены. Последняя в основном состояла из легкого вращающегося около оси металлического диска, по окружности которого были вырезаны прямоугольные зубцы равной ширины с равными между ними промежутками, или в котором, несколько отступя от окружности, были вырезаны отверстия равной величины на равных расстояниях друг от друга. Из отверстия тонкой трубки можно было пускать струю воздуха или какой-нибудь жидкости на зубцы или в промежутки между ними; при вращении диска струя, периодически прерываясь, давала определенный тон. Вскоре после того зубцы на окружности или отверстия в диске стали прорезывать косо, так что диск приводился в движение самим током жидкости. К аппарату мог быть присоединен особый счетчик, который давал возможность определить число оборотов колеса, а сле-

¹ „Annales de chimie et de physique", LVI, стр. 280, 1834; „Pogg. Ann.", XXVI, стр. 352, 1832.

Charles Cagniard-Latour (1777—1859) инженер-географ, потом работал при министерстве внутренних дел в Париже.

² Sur la Sirène, „Annales de chimie et de physique", XII, стр. 167 и XVIII, стр. 438. Хладни упоминает о сирене в „Pogg. Ann.", VIII, стр. 456, 1825 только мимоходом, указывая на нее, как на пример получения звуков без звучащих тел.

252 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ СЛЫШИМОСТИ

довательно, и частоту колебаний. Впоследствии Зеебек ¹ в своих теоретических исследованиях часто прибегал к сирене и рекомендовал ее для общего пользования. Он постарался усовершенствовать этот прибор; с этой целью он расположил отверстия несколькими концентрическими кругами, дабы иметь возможность сравнивать аккорды тонов. *При определении высшего предела слышимости Савар* ² тоже воспользовался сиреной, но для получения более отчетливых тонов он вместо воздушного тока применял какое-либо маленькое клинообразной формы тело, например игральную карту, о которую и ударялись зубцы. Таким образом, верхний предел слышимости он установил при 24 000 полных или 48 000 простых колебаний в секунду. Но так как уже при 15 000 колебаний тоны были слабо слышны, а потом они были едва ощутимы, то этим путем нельзя было точно установить порог слышимости. *Во всяком случае, предел слышимости зависит от способа воспроизведения звуков.* Для определения предела слышимости низких тонов он устроил другой аппарат ³, состоявший из железной полосы в 2½ фута длины, 2 дюйма ширины и 6 дюймов толщины, вращающейся около оси, которая проходила через широкие стороны полосы. При своем вращении полоса проходила свободным концом между двумя тонкими пластинками не более, как на расстоянии 1 мм от каждой. При этом получался настолько сильный тон, что он заглушал и человеческий голос и органную трубу. По оценке лиц, в большом числе присутствовавших при этих опытах, при 14—16 простых колебаниях в секунду был еще слышен протяжный тон. *Однако и этот предел Савар не считает абсолютным*, потому что случалось улавливать и более низкие тоны, когда полоса замедляла свою скорость. Заключение Савара о *движениях в слуховом органе* также очень важно. Он нашел ⁴, что слабо натянутая перепонка приводится в колебание любыми звуками и что воздушные колебания приводят ее в движение совершенно так же, как твердое тело, поставленное перпендикулярно к ее плоскости. Этим опровергалось ходячее в то время мнение, будто барабанная перепонка должна изменять собственный тон для восприятия различных звуков, и устанавливалось значение слуховых косточек для передачи колебаний.

К этим исследованиям, которые, соприкасаясь более или менее с вопросом о молекулярных движениях или, по крайней мере, об изменении молекулярного состояния в телах, представляли собою известные этапы на пути к развитию молекулярной физики, присоединилось еще одно новое открытие, от которого с указанной точки зрения ожидали очень многого. В январе 1805 г. в Геттштедте Шварц сделал

¹ Ludw. Fr. Wilh. Aug. Seebeck [(1805—1849) — директор технической школы в Дрездене], „Beobachtungen über einige Bedingungen zur Entstehung von Tönen, „Pogg. Ann.“, LIII, стр. 417.

Зеебек написал также главу об акустике для Dove's Repertorium.

² Sur la sensibilité de l'organe de ouïe, „Annales de chimie et de physique“, XLIV, 1830: „Pogg. Ann.“, XX, стр. 290, 1830.

³ Sur la perception des sons graves, „Annales de chimie et de physique“, XLVII, стр. 69, 1831; „Pogg. Ann.“, XXII, стр. 596.

⁴ Recherches sur les usages de la membrane du tympan et de l'oreille externe „Annales de chimie et de physique“, XXVI, 1824.

случайное наблюдение, что только что застывшая пластинка, будучи положена на наковальню, издает тон. По поводу этого открытия Гильберт съездил в Геттштедт, где заметил, что это звучание сопровождается дрожанием металлической массы, и описал настоящее явление в своих *Анналах* ¹. Но так как он полагал, что имеющихся наблюдений еще недостаточно для объяснения этого факта, то оставалось только ждать новых опытов. В 1829 г. А. Тревельян ², собираясь смолить варом при помощи горячего куска железа, прислонил слишком сильно накалившееся железо к куску свинца и заметил то же явление, что и Шварц. Причину колебаний он приписал расширению холодного металла в непрерывно чередующихся местах соприкосновения; путем многочисленных опытов определил, какие металлы наиболее пригодны для того, чтобы служить подставкой, и какие — в качестве качающегося тела, и нашел наиболее целесообразную форму для подставки. Фарадей, докладывая 1 апреля 1831 г. Королевскому обществу об этом явлении, присоединился к воззрениям Тревельяна и объяснил преимущество свинца, в качестве холодного металла, значительным его тепловым расширением при наличии в то же время слабой теплопроводности ³. Форбс, бывший на докладе Фарадея, сделал 18 марта и 1 апреля 1833 г. сообщение на ту же тему Королевскому обществу в Эдинбурге. Он предположил, что при переходе тепла из тела с большой теплопроводностью в тело с меньшей теплопроводностью происходит отталкивание, род отдачи (как при вытекании всякой жидкости), и на основании своих опытов пришел к следующим законам: 1) между однородными веществами колебания никакого не происходит; 2) оба вещества должны быть металлические; 3) колебания происходят с силой, пропорциональной разности теплопроводности, причем более дурной проводник должен быть холодным металлом ⁴. Однако Зеебек ⁵ пришел к иным результатам. Любой горячий металл на любом холодном (из того же или из другого вещества) может давать колебания, лишь бы форма металлов была такова, чтобы теплота в холодном распространялась в стороны значительно меньше, чем холод в горячем. Тиндаль ⁶ опроверг все три закона Форбса. Он получал тоны от железа на железе, от меди на меди, от олова на олове, от латуни на горном хрустале, дымчатом топазе, плавиковом шпате и особенно резко на каменной соли, которая оказалась для этих опытов наиболее подходящей. Что касается объяснения данного явления, Тиндаль и другие физики остались при первоначальном мнении Тревельяна-Фарадея. К этому же периоду относится окончательное выяснение *сущности*

¹ „Gilb. Ann.", XXII, стр. 323, 1806.

² Edinburgh Courant, 26 Febr. 1831; Phil. Mag., XVII, 1833; „Pogg. Ann.", XXIV, стр. 466, 1831; XXXIII, стр. 554, 1833.

³ On Trevelyan's experiment on the production of sound, „Journ. of the Royal Inst.". II, 1831; „Pogg. Ann.", XXIV, стр. 470.

⁴ Experimental researches regarding certain vibrations, which take place between metallic masses having different temperatures, Edinburgh. Phil. Trans., XII, 1834; „Pogg. Ann.", XXXIII, стр. 553.

⁵ „Pogg. Ann.", LI, стр. 1, 1840.

⁶ Phil. Mag. (4), VII, 1854; „Pogg. Ann.", LXXXIV, стр. 613—628, 1855, Wärme als eine Art der Bewegung, Braunschweig, 1875, стр. 164—169.

254 КОМБИНАЦИОННЫЕ ТОНЫ. РАБОТЫ ФАРАДЕЯ

комбинационных тонов. В. Вебер уже в 1828 г.¹ высказал мнение, что комбинационные тоны двух одновременно звучащих простых тонов можно найти, развернув частное из числа колебаний обоих тонов в дробь и определив ее приближения. Однако он сам при этом отметил большое расхождение между вычисленными и наблюдаемыми величинами. Гелльстром² дал более простое, но и более верное правило: первый комбинационный тон определяется разностью числа колебаний составных тонов, а все остальные комбинационные тоны высшего порядка получаются из созвучия простых тонов с комбинационными тонами низшего порядка. Шайблер³ пришел принципиально к тому же результату и воспользовался им для установления чистых тонов посредством ряда камертонов, с числами колебаний, отличающимися друг от друга на четыре единицы.

ФАРАДЕЙ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ (приблизительно от 1830 до 1850 г.). Успехи учения об электричестве в тридцатых, сороковых и пятидесятых годах XIX века связаны, за малыми исключениями, с именем Михаила Фарадея. Этот в высшей степени оригинальный и, несомненно, гениальный физик не только проверил, подтвердил и исправил все работы своих предшественников в этой области, но и сам был творцом величайших открытий. Ему же принадлежит тот общий теоретический взгляд на сущность электричества, благодаря которому эта область физики пришла впервые в правильную органическую связь с другими отраслями науки. Наконец, ему же принадлежит ясное предвидение и твердая уверенность в единстве всех сил природы, которые современная физика приобрела лишь в результате долгой и упорной борьбы.

Мысль о взаимной превратимости сил природы давала направление всем его физическим работам и служила руководящей нитью во всех его наиболее значительных открытиях. И если он сам не пришел к определенному выводу о количественном постоянстве сил при всех их превращениях, то это произошло не столько вследствие особенности его дарования, сколько в результате того направления, которое должны были принять его работы и его идеи в силу внешних условий его жизни и положения.

Первыми работами Фарадея⁴ были исследования по химии; они появлялись с 1816 г. в издававшемся при Королевском институте

¹ „Pogg. Ann.“, XV, стр. 216, 1828.

² Там же, XXIV, стр. 438, 1831.

³ Там же, XXXII, стр. 333, 492, 1834.

⁴ Michael Faraday родился 22 сентября 1791 г. в окрестности Лондона. Отец его был кузнецом. 13 лет он поступил в учение к книгопродавцу и переплетчику, где оставался 8 лет. В это время он прочел „Беседы о химии“ мистрис Марсе и в „Encyclopaedia Britannica“ статьи об электричестве и самостоятельно проделал описанные там опыты. В 1810 и 1811 гг. он получил от своего хозяина разрешение посещать иногда по вечерам общедоступные лекции по физике некоего Тэтума. В 1812 г. клиент его хозяина, член Королевского института, Денс дал ему возможность послушать четыре последние лекции Гэмфри Дэви. По окончании срока учения Фарадей поступил на другое место, но оно ему очень не понравилось, и он стал искать других занятий. По совету того же Денса он послал Дэви свои обработанные записи прослушанных им лекций и при его

ОТКРЫТИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ 255

«Quarterly Journal of Science». В 1818 г. совершился его переход на физику работой о *поющем пламени*. За ним в 1822 г. последовала его первая, упомянутая уже раньше, работа *об электромагнитном вращении*. До 1831 г. он опубликовал, наряду с небольшими исследованиями по химии, обратившую на себя всеобщее внимание работу о *сжигании хлора* и некоторых других газов, исследование о *пределах испарения*, объяснение *звуковых фигур* на колеблющихся пластинках и, наконец, уже упомянутую выше *теорию Тревельяна*.

С 1831 г. Фарадей сосредоточил все свои силы на *развитии учения об электричестве*. В этом же году он начал печатать в Philosophical Transaction свои «Experimental researches in electricity» («Экспериментальные исследования по электричеству»), продолжавшиеся до 1885 г. и составившие в общей сложности 30 серий с более чем 3000 параграфов. Уже в первой серии этих исследований содержится *открытие гальванической индукции*¹.

Поскольку тождество трибоэлектричества и гальваноэлектричества: было признано, электрическая индукция давала повод предполагать существование гальванической; с другой стороны, магнитная индукция при установленном Ампером единстве магнетизма и электричества должна была усилить такое предположение. То обстоятельство, что физики, несмотря на доказательства Ампера, не понимали этой индукции, а также, что сам Ампер не вполне использовал свое открытие, не могло решающим образом повлиять на Фарадея при его убеждении в единстве сил. Поэтому-то Фарадей, имевший перед Ампером еще преимущество обладания более совершенным гальванометром, мог убедить даже самых упорных скептиков в существовании гальванической индукции. Однако и ему этот результат достался *не без труда*. Обмотав деревянную катушку двумя обвитыми шелком и, следовательно, изолированными друг от друга проволоками, он соединил конец одной из них с батареей в 10 элементов, а концы другой с гальванометром, но во время прохождения тока по первой проволоке не нашел

содействии получил в 1813 г. место ассистента в лаборатории Королевского института (с жалованием 25 шилл. в неделю и квартирой в две комнаты). 13 октября 1813 г. он отправился вместе с Дэви в путешествие по Франции, Италии, Швейцарии и т. д., из которого вернулся в 1815 г. В 1816 г. он прочитал в небольшом кружке свои первые лекции „Описание свойств, присущих материи, форм материи и простых веществ". Когда Бренд стал вместо Дэви профессором химии в Королевском институте, Фарадей был назначен заведующим лабораторией. В 1827 г. он получил и профессорскую кафедру после Бренда. 8 января 1824 г. он был избран, не без сопротивления со стороны Дэви, членом Королевского общества. Начиная с 1831 г. на него посыпались почести: по Д. Г. Гладстону [Mickael Faraday), немецкий перевод Glogau (без указания года)] он был избран действительным и почетным членом чуть ли не 68 научных обществ. Фарадей умер 25 августа 1867 г. в Гамптон-Корте, близ Лондона (*Тиндаль, Фарадей и его открытия, Брауншвейг 1870*).

¹ Experimental researches in electricity, series I: Induction of electric currents; evolution of electricity from magnetismus; new electrical state of condition of matter; explication of Arago's magnetic pheunomena, Philosophical Transactions, 1831. Experimental researches in electricity, series II. Terrestrial magneto-electric induction generally, Philosophical Transactions, 1832. Обе серии переведены на немецкий язык в „Pogg. Ann.", XXV, 1832.

256 МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

ни следа индуцированного электричества во второй. Такой же отрицательный результат получился, когда он усилил сбую батарею до 120 элементов, — во время прохождения тока гальванометр не показывал *и* следов гальванизма. Однако, продолжая свои опыты с упорством глубоко убежденного человека, он, наконец, добился-таки индуцирующего действия. Однако последнее проявлялось ее в то время, когда ток был замкнут, а только при замыкании и размыкании тока. В том и другом случае, стрелка гальванометра небольшим отклонением обнаруживала присутствие тока во второй проволоке, но тока не постоянно текущего, а мгновенного, который по своему характеру *«походил скорее на электрическую волну из лейденской банки, чем на электрический ток из вольтовой батареи»*. Когда, таким образом, лед оказался сломанным, определить свойства и законы гальванической индукции было уже не так трудно. Фарадей установил, что получаемый при замыкании индукционный ток *противоположен* по своему направлению индуцирующему току, а ток, получающийся при размыкании, имеет *одинаковое* направление с последним. Вместе с тем — что в принципиальном отношении было наиболее важно — он открыл, что в индукционной спирали токи развиваются не только при замыкании и размыкании индуцируемого тока, но также *при приближении и удалении* первичной спирали с током от вторичной; отсюда вытекало, что *действующей причиной в индукции является движение* или механическая сила. Фарадей назвал эту индукцию от *гальванического тока вольтаической индукцией*.

Но по теории Ампера выходило, что наряду с гальванической индукцией должна существовать и *магнитная*; и Фарадею, действительно, удалось доказать ее существование прямыми опытами: *приближение и удаление магнита*, аналогично приближению и удалению первичной спирали с током, индуцирует в проволоочной спирали ток; Фарадей в дальнейшем также показал, что всякое изменение положения индукционной спирали по отношению к земле вызывает в ней индукционный ток.

То обстоятельство, что всякое изменение положения тока или магнита по отношению к проводнику вызывает в последнем электричество, а, следовательно, и магнетизм, бросило свет и на остававшиеся до тех пор загадочными явления *вращательного магнетизма Араго*. Поместив между полюсами магнита вращающийся медный диск и приведя концы проводника в скользящее сообщение с осью и окружностью диска, Фарадей не только получил возможность отводить индуцированный ток, но даже извлекать искры. *Как широко понимал Фарадей связь между движением и возникновением электричества*, можно увидеть из следующих его слов: «Теоретически следует, по-видимому, признать обязательным, что везде, где течет вода, должны развиваться электрические токи. Если мысленно представить себе линию, проведенную через море от Дувра к Кале, а затем обратно в земле под водой от Кале к Дувру, то эта линия охватит круг проводящей массы, часть которой пересекает магнитные кривые Земли, пока вода течет по каналу вверх и вниз, а другая часть остается в относительном покое. Имеется полное основание полагать, что по главному направлению опи-

ЯВЛЕНИЕ ЭКСТРАТОКОВ 257

санной линии будут идти токи в том или другом направлении, в зависимости от того, будет ли вода по каналу течь вверх или вниз»¹.

Однако вскоре выяснилось, что подобные связи оказываются даже более тесными, чем это предполагал Фарадей. В 1834 г. Уильям Дженкин и почти одновременно с ним Массон² заметили, что искра при размыкании электрического тока значительно усиливается, если провод удлинить, и еще более усиливается, если провод завить в спираль и вставить в последнюю железный стержень. Так как при этом сила тока не могла увеличиться, а наоборот, должна была уменьшиться, то этот результат показался обоим исследователям загадочным. Фарадей тотчас же усмотрел в этом действие индукции³, развиваемой в собственном проводнике гальваническим током при его размыкании. После этого ему удалось доказать появление *экстраток* (extra-current), по выражению Фарадея, и при замыкании цепи и установить, что по своему направлению он противоположен току при размыкании. *Ток размыкания, имея одинаковое направление с первичным током, усиливает последний, а ток при замыкании производит обратное действие.* Экстраток имели на первых порах многих противников: Дове⁴, например, никак не хотел допустить, чтобы принятие таких индукционных токов было необходимо и полезно для объяснения указанных явлений. Однако положения *Фарадея* были подтверждены опытами Якоби⁵ и других физиков, а позднее Гельмгольц⁶ показал важность экстраток в теоретическом и в практическом отношении.

Вообще же явления индукции были приняты всеми физиками с живейшим сочувствием и были очень скоро подтверждены рядом новых наблюдений. Нобили и Антинори⁷ уже в 1831 г. получили от индукционных токов искру, что привело всех в большое изумление. Ритчи⁸ был склонен думать, что явления индукции представляют собою прямое и очевидное последствие принципа равенства действия и противодействия; но только Ленц⁹ впервые на многочисленных опытах доказал, что индукционные явления безусловно соответствуют указанному закону и, таким образом, подтверждают его действительность

¹ Ср. Tyndall, Faraday und seine Entdeckungen (Фарадей и его открытия), Braunschweig 1870, стр. 30.

² Hoppe, Geschichte d. Electricität, Leipzig 1884, стр. 413. Фарадей упоминает только о наблюдениях Дженкина. (Physophlcal Transactions, стр. 41, 1835.)

³ Experimental researches... series IX: Induction of an electric current of itselfinductive action of electric currents generally, Philosophical Transactions, 1835; „Pogg. Ann.", XXXV, 1835.

⁴ Repertorium d. Physik, I, стр. 334 —341. Heinrich Wilhelm Dove родился 6 октября 1803 г. в Лигнице, умер 4 апреля 1879 г. в Берлине, был допущен к чтению лекций в 1826 г. в Кенигсберге, в 1829 г. — экстраординарный, а в 1845 г. — ординарный профессор физики в Берлине; с 1836 г. — директор основанного в том же году метеорологического института для Пруссии.

⁵ „Pogg. Ann.". XLV, стр. 132, 1838.

⁶ Там же, LXXXII. стр. 505, 1851.

⁷ „Pogg. Ann.", XXV, стр. 473, 1832.

⁸ Phil. Mag. (3), IV. 1831; „Pogg. Ann.", XXXI, стр. 203, 1834.

⁹ „Pogg. Ann.", XXXI, стр. 433, 1834. Henrich Friedrich Emil Lenz родился 12 февраля 1804 г. в Дерпте, умер 10 февраля 1865 г. в Риме, в 1823—1826 гг. — физик при экспедиции Коцебу, в 1828 г. — адъютант, а с 1834 г. — член Петербургской академии наук и одновременно профессор Петербургского университета.

258 ЗАКОН ЛЕНЦА. СВЯЗЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА С МЕХАНИЧЕСКОЙ СИЛОЙ

в области электричества. Ленц говорит: *«Когда металлический проводник движется вблизи гальванического тока или магнита, то возбуждаемый в нем ток имеет такое направление, что покоящийся провод должен был бы двигаться как раз обратно действительному его движению; при этом, конечно, предполагается, что покоящийся провод может двигаться только в этих двух направлениях»*.

Быстрее, чем во многих других случаях, физиками было оценено и теоретически принципиальное значение новых явлений, которые всего сильнее содействовали выяснению общего понятия силы и приводили к идее о *взаимной обратимости всех видов сил*.

Для амперовского учения о причинном тождестве магнитных и электрических явлений гальваническая индукция представила настолько твердую опору, что теперь все другие теории электромагнетизма исчезли. Когда появилась первая серия работ Фарадея, Берцелиус тотчас же отметил, что амперовская теория теперь уже не вызывает никаких сомнений ¹. В следующем году он попытался использовать новое открытие для подтверждения собственной теории *тождества химического сродства с электрическими силами*. «Едва ли нужно прибавлять, — говорит он, — что такой факт, как уничтожение химического сродства движением магнита, представляет неопровержимое доказательство тесной связи химического сродства с электричеством» ².

Однако наиболее значительным и плодотворным последствием открытия гальванической индукции оказалось его влияние на выяснение взаимности отношения между электричеством и механической силой. Правда, о возможности получать при помощи электричества большую механическую силу узнали как раз незадолго до открытия явлений индукции, а именно благодаря устройству *электромагнитов*, которое, надо признать, почему-то сильно запоздало. Ведь соленоид Ампера, данный им в 1822 г., был уже по существу электромагнитом; с другой стороны, уже со времени изобретения мультипликатора знали, что с увеличением числа оборотов проводника, если последние изолированы друг от друга шелковой обмоткой, можно магнитное действие тока значительно усилить. Тем не менее, только несколько лет спустя открыли, что, обмотав, мягкий железный стержень большим числом витков провода, можно получить искусственный магнит, который по своему действию значительно превосходит любой естественный магнит. Но даже и после этого изобретения настоящее явление не было сразу оценено по достоинству и понято, так что на первых порах *физики просто изумлялись огромному механическому действию подобных электромагнитов* ³.

До сих пор в точности неизвестно, кто собственно первый превратил соленоид в электромагнит. Фехнер в своем «Repertorium der

¹ Jahresbericht über die Fortschr. der Physik und Chemie, XII, стр. 38, 1832.

² Там же, XIII, стр. 41, 1833.

³ По-видимому, ни Фехнер, который в своем переводе „Traité de physique" Biot подробно описывает соленоиды (1825), ни Мунке, который в появившемся в 1827 г. томе Gehler Physik Wörterbuch усиленно обращает внимание своих читателей на эти искусственные магниты, еще не подозревали об электромагните в собственном смысле.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАШИНЫ 259

Physik» (II, стр. 48, 1832) приписывает это изобретение Пфаффу; однако это неверно, так как Брюстер уже в 1826 г. и Стерджен около того же времени устраивали подковообразные магниты ¹. Проф. Пфафф сам рассказывает, что он видел в Лондоне электромагнит, устроенный Стердженом, и выражает свое удивление по поводу действия его в следующих словах: «Дивишься как чуду, когда видишь, что в то мгновение, когда проволока замыкает (гальваническую) цепь и ток начинает идти, якорь, отягченный грузом в 8 фунтов и более, притягивается даже с расстояния и столь же мгновенно отпадает, когда цепь размыкается» ². Подобным же размышлениям предается Берцелиус ³, описывая большой электромагнит Джоза Генри и Тена Эйка, который при действии элемента в $4\frac{7}{9}$ квадратных футов поверхности поддерживал груз в 2000 фунтов. «В самом деле, нельзя не изумляться, наблюдая, как столь *малая сила* вызывает в этой установке *неслыханное притяжение* на полюсах магнита».

После таких высказываний становится понятным, что ознакомление с действием электромагнитов тотчас же привело к попыткам использовать их огромную механическую силу для практических нужд; при этом на них были возложены преувеличенные надежды, в которых, конечно, нельзя усматривать приближения к воззрениям новейшего времени на сущность действия силы. Но возможно, что именно последовавшее за этими надеждами разочарование впоследствии привело к более правильному пониманию отношения между получаемой работой и затрачиваемой на нее силой.

Первую электродвижущую машину построил в 1839 г. Сальваторе даль-Негро ⁴. Она состояла из подвешенного в виде двойного маятника стального магнита и охватывающего его верхний полюс своими коленами неподвижного электромагнита. Постоянный магнит своими качаниями изменял ток в электромагните и этим сам поддерживался в движении. В другой машине постоянный магнит играл роль якоря электромагнита и был укреплен на одном конце коромысла, другой конец которого был при помощи кривошипа соединен с маховым колесом. И здесь коромысло своим движением изменяло направление тока, так что притяжение и отталкивание постоянно чередовались друг с другом ⁵. Однако работа обеих этих машин в силу

¹ Brewster, .Edinb. Journ. of Science", VI, 1826.

William Sturgeon [(1783—1850) — сначала долгое время на военной службе, потом — преподаватель физики]. A complete set of novel electromagnetic apparatus; Transactions Soc. of Arts, 1825; извлечение в „Philipp's Ann. of Phil.", XI, 1826; согласно Poggendorf's Hanwörterbuch, II, стр. 1042 в этой статье содержится открытие электромагнита.

Ср. также Wiedemann, Die Lehre v. d. Elektrizität, III, стр. 343, 1883.

² „Schweigger's Journ.", LVIII, стр. 275. ³ Jahresberichte, XII, стр. 45—46, 1832.

⁴ „Pogg. Ann.", XLVII, стр. 76, 1839; Iohann Müller's Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik, 1, стр. 528, Brunschweig 1849—1852. Salvatore dal Negro (1768—1839) — профессор физики и механики в Падуанском университете.

⁵ Говорят что даль-Негро уже своей первой машиной поднял в 1 мин. 180 г на высоту 1 м. Подобные же машины описали Генри в „American. Journal", XX, July 1831 и Ботто в „boumgärtner's Ztschr. für Mathematik und Physik", II, 1885.

260 ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

их конструкции не могла быть сколько-нибудь значительной. Первую электродвигательную машину, которая действительно была применена для работы, построил Якоби. В 1834 г. он представил описание ее Парижской академии, а затем в 1838 г. она приводила в движение по Неве знаменитый бот в 26 футов длиной и 8¹/₂ футов шириной с 12 пассажирами ¹. Франкфуртский уроженец И. П. Вагнер, изобретатель так называемого неефовского молоточка, после четырехлетней неустанной работы над изобретением электродвижущей машины пришел в 1840 г. к твердому убеждению, что теперь, наконец, для промышленности уже найдена новая движущая сила. В следующем году союзный парламент ассигновал Вагнеру на устройство электрического локомотива 100 000 гульденов, при условии, если он будет удовлетворять известным требованиям, но когда оказалось, что последние в данном случае не могут быть выполнены, парламент в 1844 г. аннулировал эту ассигновку ². Вместе с тем на долгое время был вынесен приговор этого рода машинам. Первые изобретатели, может быть, даже не думали, что ток, примененный для получения механической работы, должен стоить денег. Так, Вагнер полагал, что затраты на батареи с лихвой должны покрываться стоимостью химических соединений, получающихся в цепи; однако, и эти надежды совершенно не оправдались ³.

Попыткам получения механической работы при помощи электричества соответствовало теперь, после открытия Фарадеем индукции, обратное стремление получить электричество за счет механической работы.

Индукционной машиной, соответствовавшей этой цели, был уже фарадеевский медный диск, вращающийся между полюсами магнита, с которого при помощи скользящих контактов отводил токи. Стерджен ⁴ с подобной машиной достиг более сильного действия, заменив постоянный магнит электромагнитом. Но и здесь машину большой силы впервые устроил в 1832 г. даль-Негро ⁵ и принципиально по тому же плану — Пиксии ⁶. Интересно, что машина последнего по ее описанию в «Annales de chimie et de physique», была принята

¹ „Pogg. Ann.", XXXVI, стр. 366, 1835 и LI, стр. 358, 1840. Moritz Hermann Jacobi родился 21 сентября 1801 г. в Потсдаме, умер 10 марта 1874 г. в Петербурге, был сначала прусским чиновником, 1835—1840 гг. — профессором строительного искусства в Дерпте, с 1859 г. — адъютант и с 1842 г. — член Петербургской академии.

² Stricker, Nekrolog des Herrn I. P. Wagner; Jahresber. d. phys. Vereins zu Frankfurt a/M., 1878—1879, стр. 32—36. Johann Philipp Wagner родился 24 января 1799 г. в Фишбахе, умер 6 января 1879 г. во Франкфурте на Майне, был с 1815 до 1840 г. бухгалтером по торговле железом во Франкфурте на Майне, затем жил частным лицом, усердно занимаясь физическими и техническими работами. Свой электромагнитный молоток он представил Франкфуртскому физическому обществу 25 февраля 1837 г.

³ Johann Müller, Berichte über die neuesten Fortschritte der Physik, I. стр. 543—548. Braunschweig 1849—1852

⁴ „Pogg. Ann.", XXIV, стр. 634, 1832.

⁵ Phil. Mag. (3), I, 1832.

⁶ „Annales de chimie et de physique", L и LI, 1832; „Pogg. Ann.", XXVII, стр. 390—393, 1833.

КОММУТАТОР 261

Берцелиусом ¹ за аппарат для получения искр посредством магнита: подковообразный магнит, весом в 34 фунта, укреплен на оси таким образом, что может быстро вращаться около нее. Прямо перед ним неподвижно укреплен изогнутый подковой железный стержень таким образом, что концы его прямо противостоят полюсам магнита, но не касаются их. Этот стержень обмотан 50 м медной проволоки с шелковой изоляцией; один конец этой проволоки погружен в чашечку с ртутью, а другой немного не доведен до соприкосновения с последнею и укреплен в таком положении. При быстром вращении магнита искры непрерывно и очень часто проскакивают между ртутью и концом проволоки так, что они совершенно сливаются. Если же наладить этот аппарат таким образом, чтобы при каждом полуобороте концы проволоки менялись своим положением, как в известном электромагнитном приборе Ампера, то получается электрический ток, идущий постоянно в одном и том же направлении. Однако для этой цели нельзя применять ртуть, так как последняя разбрызгивается, а применяют амальгамированные медные пластинки. При помощи этого аппарата можно получить сильные удары в руки; он разлагает воду и т. д. ². Когда амперовский коммутатор выключен, то разложение воды продолжается, но теперь получается смесь водорода и кислорода. Ампер получал еще более сильное действие при посредстве магнита, весившего 220 фунтов с проволоочной обмоткой длиною в 1000 м.

Сила электрических токов этих машин, усовершенствованных впоследствии Ритчи, Кларком, Сакстоном и др., обуславливается, главным образом, силой *индуцирующего магнита*. Действие этой машины старались усилить тем, что заменили массивный магнит сложным, но существенного улучшения при этом не получили. Большого успеха достиг механик Эмиль Штерер в 1844 г., применив три или четыре сложных магнита, расположенных по кругу, а против них установив столько же электромагнитов, которые могли вращаться около одной общей оси. В Германии машина Штерера долгое время считалась наиболее сильной и употреблялась, между прочим, в германских театрах в качестве источника энергии для восходящего солнца в опере «Пророк». Во Франции общество l'Alliance» пользовалось для получения электрического света машиной, в которой сложные магниты по своему устройству позволяли применять их в большем количестве. В некоторых машинах число сложных магнитов, весивших по 120 фунтов каждый, доходило до 40; такие машины общество применяло для электрического освещения вплоть до последнего времени. *Однако и в этих сильных машинах введение магнита в качестве про-*

¹ Jahresberichte... , XIII, стр. 41, 1833. *Хотя в это время уже на ряде фактов освоились с превращением сил, тем не менее, факт получения при индукции искры из магнитов (при отсутствии какого-либо другого источника электричества) произвел чрезвычайно сильное впечатление; действительно, при господствовавшей тогда системе элементарных невесомых жидкостей, это явление должно было заключать в себе нечто загадочное.*

² Таким образом, изобретение коммутатора следует приписать Амперу, позднейшие же физики Кларк, Сакстон, Штерер и др. практически усовершенствовали его, придав ему более надежное и удобное устройство.

262 ТЕОРИЯ СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА С ХИМИЧЕСКИМ СРОДСТВОМ

*межуточного звена в процессе превращения механической силы в электричество, составляло их недостаток, который, при невыгодном соотношении между весом постоянного магнита и его магнитной силой, создавал препятствие для широкого распространения индукционной машины. Другой их недостаток заключался в том, что машины эти давали не непрерывный ток, а ряд индукционных толчков, сила которых по мере приближения электромагнитов к полюсам постоянных магнитов возрастала до максимума, а затем с удалением от них падала. Указанные причины помещали широкому распространению этих машин в технике и только в последнее десятилетие, когда оба упомянутые недостатка были устранены, настал день рождения электротехники*¹.

Сходство индукционных токов с разрядами статического электричества побудило Фарадея вновь приняться за изучение *отношения между различными видами электричества, получаемого из разных источников, и, прежде всего гальванического электричества и электричества от трения*. При этом он пришел к выводу, что все они, в сущности, тождественны, отличаясь лишь соотношением между количеством и напряжением². Электрическое соотношение тела зависит не только от количества распределенного на нем электричества, но и от самого распределения его и от вытекающего отсюда *результатирующего напряжения* электричества. Электричество от трения при малом количестве обладает очень большим напряжением, а в гальваническом — отношение обратное. Если платиновую и цинковую проволоку в $\frac{1}{6}$ дюйма толщиной погрузить в воду, подкисленную одной каплей серной кислоты на унцию воды, и погрузить на глубину $\frac{5}{8}$ дюйма при взаимном расстоянии обеих проволок в $\frac{5}{16}$ дюйма, то за 6 секунд получается такое же количество электричества, какое получается от очень большой и сильной электрической машины при 30 оборотах. *Количества электричества, необходимого для разложения одного грана воды, было бы достаточно для того, чтобы зарядить большую лейденскую банку 800 000 раз; ее мгновенный разряд соответствовал бы действию сильной молнии*. Фарадей почти с опасением называет полученные им числа; однако позднейшие измерения Пфаффа, Беккереля, Б. Вебера и Р. Кольрауша дали столь же большие величины³.

Это привело Фарадея к вопросу о *связи электричества с химическим сродством*, к изучению химических действий электричества. При отношении Фарадея к химии и при всем ходе его образования эти вопросы были для него особенно близки, тесно соприкасаясь с его общими воззрениями на силы природы. Однако раньше, чем опубликовать свои многочисленные опыты над химическими разложениями, он опубликовал соприкасающиеся с этим вопросом исследования об

¹ Настоящая первая половина третьей части „Истории физики“ Розенбергера в оригинале вышла в свет в 1887 г. *Прим. ред.*

² Experimental researches, series III: Identity of electricities of different sources; relation by measure of common and Voltaic electricity, Philosophical Transactions, 1833; „Pogg. Ann“, XXIX, 1833.

³ Tyndall. Faraday und seine Entdeckungen, Braunschweig 1870, стр. 41—42. O. Wildemann. Die Lehre von der Elektrizität, IV, Braunschweig 1885, стр. 1005—1006.

*электропроводности тел и особенно жидкостей*¹. Твердые тела, особенно металлы, проводят гальванический ток, не претерпевая химических изменений; жидкости же при этом разлагаются током. Имеет ли, однако, последнее правило место всегда без всякого исключения или же некоторые жидкости могут все-таки проводить ток подобно металлам? Фарадею показалось, что однажды ему привелось увидеть такого рода проводимость у жидкости, и потому он считал возможным, что *жидкостям, помимо так называемой электролитической проводимости, свойственна, хотя и в очень слабой степени, и металлическая*. Это один из немногих, может быть, даже единственный случай, когда наблюдение Фарадея не было подтверждено последующими экспериментаторами².

В последовавших затем сообщениях Фарадея о *химическом разложении посредством электрического тока*³ можно уже ясно проследить развитие воззрений Фарадея на сущность сил природы и, прежде всего, встретиться с отрицанием возможности какого-либо действия тел на расстоянии, всякого *actio in distans*. *Фарадей настойчиво возражает против выражения «полюсы электрического тока» и против мнения, будто действие тока на жидкости, через которые он проходит, является результатом притяжения, действующего непосредственно через жидкость от одного полюса к другому*. Прежде всего, он показывает, что разряды лейденской банки разлагают жидкости совершенно так же, как гальванический ток. Затем он производит следующий опыт; смоченный сернистым натрием кусок куркумовой бумаги он присоединяет к положительному кондуктору большой электрической машины, а вблизи бумаги располагает металлическое острие, соединенное проводящей связью с газовыми трубами здания. При вращении машины электричество переходит из бумаги по воздуху в острие, и бумага начинает буреть, ясно указывая, что сернистый натрий разлагается. По мнению Фарадея здесь не может быть речи ни о притяжении полюсов, ни о самих полюсах: разложения, следовательно, производятся не притяжениями или отталкиваниями некоторых точек, а уничтожением или нейтрализацией химического средства. *«То, что мы называем электрическим током, есть ось силы, которая в противоположном направлении с противоположными силами действует совершенно одинаково. Электрическое разложение обуславливается внутренним корпускулярным притяжением в телах, действующим в направлении электрического тока, и производится силой, которая либо притекла со стороны, либо только дает направление присущему телам обычному»*

¹ Experimental researches..., series IV: New law of electrical conduction; on conducting power generally. Philosophical Transactions, 1833; „Pogg. Ann." XXXI, 1834.

² G. Wildemann, Die Lehre v. d. Electricitat, II стр. 488, 1833.

³ Experimental researches..., series V: Electrochemical decomposition, Philosophical Transactions, 1833. „Pogg. Ann.", XXXII, 1834. Experimental researches... series VII: Electrochemical decomposition, continued; electro-chemical equivalents Philosophical Transactions, 1834; „Pogg. Ann.", XXXIII, 1834.

Шестая серия экспериментальных исследований по электричеству содержит исследование так называемой *каталитической силы металлов*, которое сюда не имеет отношения.

264 ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ФАРАДЕЯ

химическому сродству. Разлагаемое тело можно рассматривать как массу действующих частиц, из которых все, входящие в сферу влияния тока, принимают участие в процессе. Вследствие того, что обычное химическое сродство в направлении действующего тока уничтожается, ослабляется или до известной степени нейтрализуется, а в противоположном направлении, наоборот, усиливается или присоединяется, частицы соединений стремятся двигаться в противоположные стороны». «По моему мнению, эти действия производятся *внутренними* силами в теле, разлагаемом током, а не *внешними* силами, как можно было бы думать, если бы они были сосредоточены на полюсах. Я предполагаю, что это действие происходит от видоизменения химического сродства в частицах, вызываемого электричеством; видоизменение это состоит в том, что химическое сродство действует в одну сторону сильнее, чем в другую, и этим заставляет частицу переходить через новый ряд соединений и разложений в противоположном направлении и, наконец, на границе разлагаемого тела ее выталкивает наружу». Выражение, *ток есть ось силы*, вполне согласуется с позднейшим кругом воззрений Фарадея на сущность силы. *Сила не есть нечто действующее непосредственно между двумя отдаленными точками пространства; весь промежуток между этими точками участвует в действии силы таким образом, что каждая его точка воспринимает и отдает или же играет роль посредника*. Ось силы по существу — это то же самое, что позднее будет выражаться термином *линия силы*. Там мы и будем говорить о преимуществах и несовершенствах этого воззрения.

Фарадею представлялось также чрезвычайно важным сопоставить электричество и химическую силу с *количественной* стороны. В цепь одного и того же тока он включил последовательно большое количество совершенно различной конструкции приборов для разложения воды. Так как во всех этих приборах выделилось совершенно одинаковое количество водорода, Фарадей пришел к следующему выводу: *когда вода подвергается действию электрического тока, то часть ее всегда разлагается, и эта величина пропорциональна количеству электричества, не завися ни от силы электрического тока, ни от величины поверхности, погруженной в жидкость, ни, наконец, от большей или меньшей проводимости жидкости*. Итак, количество образовавшегося газа представляет собою точную меру количества электричества; исходя из этого Фарадей построил свой аппарат для разложения воды с градуированными стеклянными трубками, который он назвал *вольта-электрометром*, или, короче, *вольтаметром*. Чтобы сравнить действие тока на *различные вещества* с количественной стороны, Фарадей ввел с цепь тока вольтметр и тигель с *расплавленным хлористым оловом или хлористым свинцом*. Таким образом он установил, что на 0,49742 грана газа в вольтамetre пришлось 3,2 грана олова или на 1 гран водорода 57,9 грана олова. Так как эти числа соответствуют эквивалентам взятых веществ, то Фарадей пришел к своему знаменитому основному *электролитическому закону*, подтвержденному им позднее многочисленными опытами *при равных количествах электричества разлагаются эквивалентные количества различных электро-*

литов. Антипатия Фарадея к неправильным, с его точки зрения, выражениям «полюс электричества» и «полюсные притяжения», побудили его создать для электрического разложения новую номенклатуру, которая вначале обратила на себя мало внимания, но теперь все больше входит в употребление. По этой номенклатуре весь процесс электрического разложения называется *электролизом* (от греческого слова λύνω) — растворять), а разлагаемые током вещества — *электролитами*. Поверхности, с которых электричество входит в жидкость, названы *электродами* (ὁδοζ — путь); та, на которой выделяется кислород, *анодом* (ἀνα — вверх); другая, на которой выделяется водород, *катодом* (κατα — вниз). Продукты разложения вообще названы ионами (правильнее ионтами, от ἵμι — идти), а отдельно — соответственно полюсам — *анионом* и *катионом*¹. Берцелиус² нашел эту номенклатуру совершенно ненужной по той причине, что в ее основе лежит допущение существования только одного вида электричества, между тем как именно благодаря электрохимической системе несомненно доказана реальность существования двух электрических жидкостей.

Всеми этими исследованиями Фарадей неизбежно вовлекался в разгоревшийся тогда с полной силой *спор между контактной и химической теорией* аппаратов Вольты. Такой серьезный и добросовестный физик, как Фарадей, не мог не высказаться, возникает ли электричество в столбе вследствие соприкосновения металлов, или вследствие химического действия между ними и жидкостями, или же, может быть, из обоих источников, — а в последнем случае, какой из двух моментов — контакт или химическое сродство — играет главную роль и который из них начинает это действие. Все эти вопросы были подняты сразу, и именно благодаря такому смешению спор так оживился и затянулся на столь долгое время.

Приверженцем чисто контактной теории был, вероятно, один лишь Вольта, смотревший на жидкости в столбе, как на пассивных проводников электричества. Но уже вслед за ним Фабброни, Уолластон, Риттер и др. обратили внимание на то обстоятельство, что этой пассивности жидкости в действительности не существует, что жидкости действуют химически на металлы, вследствие чего источник электричества следует искать именно в этом последнем процессе. Затем *чисто химическую теорию* столба предложил Парро³, тогда как Пфафф⁴ старался многочисленными работами подтвердить контактную теорию Вольты. До начала двадцатых годов XIX века этот спор держался в приличных границах, с обеих сторон он сохранял характер научного исследования и чисто теоретической дискуссии. Но после того как Берцелиус основал свою химическую систему на положении,

¹ Philosophical Transactions, стр. 78—79, 1834.

² Jahresberichte über die Fortschr. der Physik und Chemie, XV, стр. 39, 1835.

³ Übersicht und System der theoret. Physik, Dorpat 1809 и 1811.

⁴ Christian Heinrich Pfaff родился 2 марта 1773 г. в Штутгарте, умер 23 апреля. 1852 г. в Киле, изучал медицину, был некоторое время практикующим врачом, в 1797 г. стал экстраординарным и с 1801 г. ординарным профессором медицины, физики и химии в Киле.

266 БОРЬБА КОНТАКТНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИЙ

что все химические силы являются лишь электрическими притяжениями и отталкиваниями различных электрических элементов; после того как в основу его теории была, таким образом, положена мысль о первичности электрических сил по сравнению с химическими; и, наконец, после того как теория Берцелиуса была признана большинством химиков и физиков в Германии, — спор получил иной характер. Энергичным нападкам на эту теорию, с которыми выступили сначала де-ла-Рив ¹, а позднее Беккерель ², нападкам, опиравшимся на сильную логику и на многочисленные исследования, противостояла теперь уже как будто не спорная электрическая теория, а вполне *научная система*. Вследствие этого спор принял характер борьбы не за истину, а за личное влияние, и дошел до того, что противники, переставшие понимать друг друга, возражали не против действительных мнений своих оппонентов, а против мнений, которые они сами им приписывали ³. То, что Берцелиус ⁴ говорит о своих противниках, в равной мере приложимо к нему самому и к его партии. «Подобное отношение к важным пунктам основ науки всегда имеет место, когда стремятся не выяснить объективную истину, а только подыскать доказательства для случайно оброненного мнения, которое во что бы то ни стало, желают возвести на степень истины. Это, конечно, очень распространенное явление, приводящее, однако, исследователя, вследствие отсутствия беспристрастной проверки, к заблуждениям гораздо чаще, чем обычно думают». «Подобные объяснения очень похожи на действия человека, который закрывает глаза рукой, чтобы не видеть того, что есть в действительности и существование чего ему представляется нежелательным». Тотчас после открытия так называемых *замбониевых* или *сухих столбов* ⁵ победа контактной теории казалась обеспеченной. Однако вскоре выяснилось, что и в этих столбах химические изменения играют роль и что в них сила тока возрастает с усилением химического действия, зависящего преимущественно от влажности воздуха

¹ Auguste Arthur de la Rive родился 9 октября 1801 г. в Женеве, был там же профессором физики с 1823 г., издавал с 1836 г. *Bibliothèque universelle*, затем *Archives de l'électricité*, и позднее совместно с Мариньяком (Marignac) *Archives des sciences physiques et naturelles*. Он умер в Женеве 27 ноября 1873 г.

² Antoine César Becquerel родился 8 марта 1788 г., умер 18 января 1878 г. в Париже, профессор при Musée de l'Histoire naturelle в Париже.

³ *Johann Müller*, Bericht über die neuesten Fortschr. d. Phys., I, стр. 227, Braunschweig 1849—1852. „Обстоятельство, которое в этом споре особенно резко бросается в глаза, и из-за которого спор затянулся так долго и так запутался, заключается в том, что мнение противника зачастую понималось совершенно превратно и выставлялось даже в карикатурном виде. Таким путем противнику приписывались мнения, которых тот и не думал высказывать, и из его теории делались выводы, против которых тому приходилось протестовать”.

⁴ *Jahresberichte...*, XVIII, стр. 52 и 54, 1838.

⁵ Сухие столбы после нескольких мало удачных попыток (G. B. Béhrens в 1806 г., J. A. Daluc 1810 г.) были устроены в 1812 г. Gius. Zamboni (1776—1846, проф. физики в Веронском лицее; *Della pila eleitrica a secco*, Verona 1812) из серебряной бумаги, покрытой с бумажной стороны порошком перекиси марганца. Боненбергер (1815) употреблял с еще большим успехом склеенные между собою листы золотой и серебряной бумаги.

и гигроскопичности веществ, входящих в состав столба ¹. Позднее, когда де-ла-Рив показал, что при одних и тех же металлах можно, пользуясь разными жидкостями или даже различными степенями разведения кислот водою, изменять направление тока, что электричество можно получить из одного металла и двух жидкостей, или даже из одних жидкостей ² — перевес оказался как будто на стороне химической теории тока. Противная сторона старалась отклонить этот удар, допустив, что электричество может получиться и при соприкосновении металлов с жидкостями или даже одних жидкостей и что этот источник может даже оказаться сильнее контакта металлов ³. Однако, несмотря на возражения Берцелиуса, Пфаффа, Поггендорфа и Фехнера, химическая теория все более крепла, а в законе Фарадея о пропорциональности между количеством электричества и продукта химического разложения она получила доказательство точного причинного сродства обеих сил. В своей работе об электричестве в вольтовом столбе ⁴ Фарадей стоит прямо на почве химической теории, стараясь доказать целым рядом опытов, что причину тока следует искать в химических процессах, происходящих в столбе. В сочинении 1840 г. ⁵ он приводит против чисто контактной теории самый сильный из всех возможных аргументов. «Контактная теория, — говорит он, — принимает, что сила, способная преодолеть столь большие сопротивления, как, например, сопротивление хороших и дурных проводников прохождению через них тока, и сопротивление электрического действия, дающего разложение тела, что подобная сила может возникнуть из ничего; далее, что без всякого изменения в действующих веществах, без всякой затраты движущей силы образуется ток, который непрерывно продолжается, несмотря на постоянное сопротивление, или же, как в вольтовых элементах с разложением, может быть прекращен только теми продуктами распада, которые он сам накопит на своем пути. *Это было бы действительно созданием двигательной силы из ничего в отличие от всякой другой силы природы.* Есть много процессов, при которых внешняя форма силы изменяется настолько, что происходит видимое превращение одной силы в другую. Так, мы можем превратить химические силы в электрический ток, или последний в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека и Пельте показывают взаимный переход теплоты и электричества, а из других опытов, Эрстеда и моих, вытекает взаимная обратимость электричества и магнетизма. *И нет такого случая, не исключая даже электрического угря и ската, где бы сила была создана или*

¹ Пфафф предложил даже в 1834 г. применять сухой столб в качестве гигрометра.

² *Auguste de la Rive, Analyse de circonstances qui déterminent le sens et l'intensité du courant électr. dans un élém. voltaïque, „Annales de chimie et de physique" (2), XXXVII, 1828; Recher. sur la cause de l'électricité voltaïque, „Annales de chimie et de physique" (2), XXXIX, 1828 и т. д.*

³ *Berzelius, Jahresberichte...*, IX, 1829.

⁴ *Experimental researches...*, series VIII: Electricity of the voltaic pile, *Philosophical Transactions*, 1834; „*Pogg. Ann.*”, XXXV, 1835.

⁵ *Experimental researches...*, series XVI и XVII: On the source of power in the voltaic pile, *Philosophical Transactions*, 1840; „*Pogg. Ann.*”, LII и LIII, 1841.

получена без соответственной затраты чего-либо другого». После того как это воззрение одержало верх, сторонники контактной теории могли лишь отыгрываться на том факте, что и в незамкнутой цепи, когда химических изменений не происходит, все-таки имеется некоторое электрическое напряжение. После такого сокращения объема притязаний посредничество между спорящими сторонами стало уже возможным. Оно состоялось в сороковых годах текущего столетия главным образом благодаря Шенбейну¹ знаменитому химику, открывшему озон. После многих исследований Шенбейн пришел к выводу, что соприкосновение веществ к батарее Вольты вызывает первичное электрическое разделение, первичное напряжение, которое возбуждает химическую деятельность в батарее, а уже эта непрерывно продолжающаяся деятельность является постоянным источником электрического тока. Те же воззрения были положены в основание теории гальванической цепи Гельмгольцем в его знаменитой работе «Über die Erhaltung der Kraft» (Berlin 1847) («О сохранении силы»)², а после этого все физики вообще присоединились к этому воззрению³.

Полемика по поводу теории гальванической цепи имела, конечно, не только одни дурные последствия, но и свои хорошие стороны. К числу последних относится, прежде всего, вызванное этой полемикой усиленное изучение *внутренних процессов в батарее*, химических изменений в последней. С этой точки зрения очень характерно, что Фехнер⁴, горячий приверженец контактной теории, объяснил быстрое ослабевание тока в батареях особым видом сопротивления, при переходе электричества из металла в жидкость и обратно, — сопротивления, возрастающего особенно сильно вследствие поляризации на электроотрицательном металле и ослабевающего с прекращением этой поляризации после размыкания цепи. Между тем, с другой стороны, сторонники химической теории не только сумели правильное объяснить причину указанного ослабления тока, но и нашли впервые путь к устройству *постоянных батарей*. Первым, устроившим так называемый постоянный элемент, был Беккерель,⁵ (1829); за ним еще с большим успехом занимался тем же вопросом в 1836 г. Даниель, и, наконец, с 1840 г. Грове устроил свой платиновый элемент. Последние

¹ Относящиеся сюда работы Шенбейна помещены в „Pogg. Ann.“ за годы 1836—1849; они заканчиваются в последнем году в т. LXXVIII, стр. 289, статьей „Über die chemische Theorie der Volta'schen Säule“.

Christian Friedrich Schönbein родился 18 октября 1799 г. в Метцингене, умер 30 августа 1868 г. в Баден Бадене, в 1813 г. поступил на химический завод, затем изучал естественные науки, в 1824 и 1825 гг. был преподавателем в Кейлау возле Рудольштадта, а в 1828 г. (после научной поездки в Англию и Францию) стал профессором химии в Базеле, где он и работал до конца жизни.

² *Helmholtz, Wissenschaftl. Abhandlungen*, I, стр. 46, Leipzig 1882.

³ Подробное перечисление даже главных исследований из этой борьбы теорий невозможно хотя бы за недостатком места. Немецкие „Poggendorff's Annalen“ и французские „Annales de chimie et de physique“ двадцатых и тридцатых годов XIX века заполнены ими. Очень живо, но односторонне изложен этот спор в „Jahresberichte über die Fortschr. d. Phys. u. Chem.“ Берцелиуса.

⁴ *Fechner, Maassbestimmungen der galvanischen Kette*, Leipzig 1831.

⁵ Как уже было упомянуто, А. Беккерель, наряду с де-ла-Ривом, был одним из самых искусных и горячих защитников химической теории цепи.

двое при устройстве своих элементов определенно исходили из соображения, что ослабление тока в цепи происходит вследствие накопления продуктов разложения на обоих металлах, действующих особенно вредно на электроотрицательный металл. Даниель обезвредил эти отложения тем, что погрузил медь в медный купорос, вследствие чего здесь вместо водорода на медь стала отлагаться опять-таки медь. Того же достиг Грове, погрузив платину в азотную кислоту, которая непрерывно окисляет выделяющийся водород. Однако вначале никто не имел ясного представления о роли этих продуктов разложения, и ослабляющее влияние их приписывали *усилению сопротивления* тока в цепи. Шенбейн ¹ был одним из первых исследователей, определивших более точно значение этих продуктов разложения. Основываясь на прежних наблюдениях Риттера, Марианини (1816) и др., он утверждал, что совершенно так же, как во вторичной батарее Риттера, и *в гальванических элементах поляризуются самые пластины, так что вследствие этой поляризации мог бы возникнуть ток, направление которого было бы обратно батарейному. Но эту поляризацию он объяснял скоплением на металлах газов*, которые со своей стороны подобно металлам и жидкостям, могут, вследствие контактного действия, вызывать электрическое напряжение ². Теория гальванической поляризации была затем дальше разработана, преимущественно в шенбейновском духе Поггендорфом ³, Бэтцом ⁴ и др. После 1835 г. в издании «Experimental researches...» Фарадея наступил *многолетний перерыв*, в течение которого он, по-видимому, отдался усиленной умственной деятельности, в результате чего его работы до и после этого перерыва производят впечатление как бы принадлежащих к двум различным периодам. В первых его работах преобладает опыт, интерес к фактической стороне явлений; в последующих он *не ограничивается только внешним и всеми силами стремится глубже проникнуть в сущность явлений*. Современная ему физика считала причиной явлений силы, которые прямо и непосредственно действуют между телами на любых расстояниях; но способ действия этих сил и величину действия их на данную точку нельзя было представить себе наглядно, — то и другое можно было представить с полной строгостью только в математических символах, Фарадею же никогда не удавалось проникнуть в тайны математики; кроме того, при своей чисто интуитивной натуре, если бы даже он и владел математикой, он едва ли бы удовольствовался формулой, как выражением сущности явления. *Поэтому Фарадей и не мог смотреть на всякое actio in distans иначе, как на кажущееся явление, и не мог не искать за ним какого-либо естественного передатчика действия* ⁵. Хотя у него

¹ Elektrische Polarisation fester und flüssiger Körper, „Pogg. Ann.“, XLVI стр. 109 и XLVII, стр. 101, 1839 и сл.

² Ср. Müller, Bericht über die neuesten Fortschritte..., I, стр. 336—374, Braunschweig 1849—1852.

³ „Pogg. Ann.“, LXI, стр. 586, 1844.

⁴ Там же, LXXVIII, стр. 35, 1849.

⁵ Гельмгольц говорит в предисловии (стр. IX) к переводу сочинения „Фарадей и его открытия“ Тиндаля следующее: „После того как наше время, в его

270 БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ В СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ

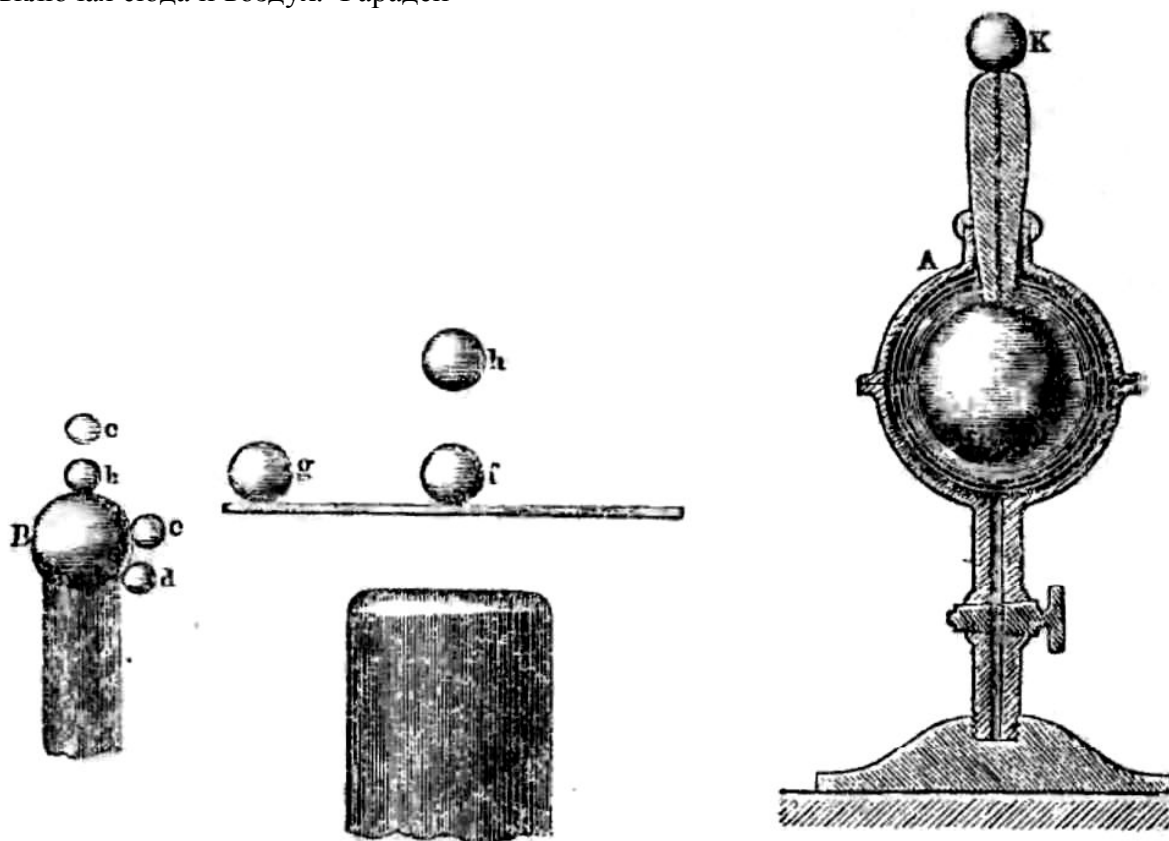
были сомнения и насчет силы тяготения, он последнюю оставил пока в стороне и сосредоточил свое внимание на действии электрических и магнитных сил на расстоянии, стараясь, насколько возможно, совершенно отделить их от силы тяжести. Более удобной для этой цели он считал не вновь открытую динамическую, а скорее статическую индукцию, как назвал ее Фарадей, или влияние электричества от трения. С этой точки зрения становятся понятными следующие слова Фарадея: «Между различного рода действиями, которые проявляются в электричестве, по-моему, нет ни одного, которое по своей важности превосходило бы или было даже сравнимо с тем действием, которое мы называем индукцией. Последнее оказывает самое широкое влияние на явления электричества, так как оно, по-видимому, принимает участие во всех процессах и имеет характер основного принципа. Правильное понимание ее столь важно, что, мне кажется, мы не сможем добиться успехов в деле исследования законов электричества, если предварительно хорошо не изучим ее природы».

Фарадей полагает, что всякое *actio in distans* мыслимо не иначе, как по прямой линии, тогда как действие силы через посредство может распространяться в пространстве и по кривым линиям. Он старается показать, что при статической индукции имеет место последнее. Натерев теплой фланелью цилиндрическую палочку шеллака в 0,9 дюйма диаметром и 7 дюймов длиной, т. е. зарядив ее отрицательным электричеством, он положил на конец ее, как это показано на черт. 12, медный шарик диаметром в 1 дюйм. Затем он исследовал вызванный индукцией заряд при помощи маленького позолоченного шарика из черного дерева с шеллаковой рукояткой, причем в *b*, *c*, *d* и *e* он повсюду нашел только положительное электричество, но в *e* заряд оказался сильнее, чем в *b*. Этим Фарадей считал доказанным, что статическая индукция действует около шара по кривым линиям; что через проводник индукция не действует, он так же был вполне убежден на основании следующего опыта. Над шеллаковым цилиндром вместо шара был подвешен металлический диск (средняя часть фигуры) от 1¹/₂ до 2 дюймов; теперь пробный шарик не получал заряда в *f*, но заряжался в *g* и *h*. Подобные же опыты были произведены с полушариями и дали соответствующие результаты. На этом основании Фарадей считал вполне доказанным, что статическая индукция не является *actio in distans*, а совершается через посредство промежуточной материи; поэтому он занялся более детальным исследованием влияния этих промежуточных веществ на индукцию. Для этой цели он применил два совершенно одинаковых экземпляра одного и того же прибора, устроенного следующим образом (см. правую часть

законном стремлении придать человеческому знанию характер верного отпечатка действительности, ниспровергло множество метафизических кумиров, оно остановилось перед унаследованными формами физических понятий о материи, силе и невесомых — названиями, отчасти превратившимися в новые метафизические лозунги для тех, которые мнили себя ушедшими далее других по пути познания. Это — именно понятия Фарадей в своих более зрелых работах и старался освободить от всякой теоретической примеси, от всего того, что не представляет непосредственного чистого выражения фактов".

БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ В СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ 271

чертежа): внутри каждого полого шара *A*, составленного из двух половин, наподобие магдебургских полушарий, подвешен другой полый шар *B* на проволоке, окруженной сургучом, и кончающийся наверху массивным металлическим шариком *K*. Из нижней половины внешнего шара в металлической подставке сделан ход с краном для выкачивания воздуха из пространства между шарами, а также для наполнения его другими газами. Кроме того, в некоторых опытах нижняя половина этой полости наполнялась расплавленными твердыми веществами, например серой, шеллаком и пр. Таким образом, эти приборы, названные Фарадеем *аппаратами распределения*, представляли собою *лейденские банки с переменными изолирующими веществами*, включая сюда и воздух. Фарадей



Черт. 12.

заряжал всегда сначала один прибор, затем разделял этот заряд между обоими и после этого исследовал заряд на обоих приборах при помощи пробной пластинки и крутильных весов Кулона. Когда приборы находились в одинаковых условиях, то заряд разделялся между ними поровну. Но когда один из них был наполнен воздухом, а другой наполовину залит шеллаком, то при заряде воздушной банки, соответствовавшем 290 делениям крутильных весов, заряды обоих внутренних шаров после разделения, хотя и оказались равными, но соответствовали уже величине в 114 градусов. Кажущаяся потеря электричества могла произойти только от *связывания* его шеллаком второго прибора или, точнее, от более сильного связывания электричества шеллаком, чем воздухом. Так как дальнейшие опыты подтвердили различную способность разных веществ связывать электричество, *специфическую индуктивную их способность*, по терминологии Фарадея ¹, то отсюда он опять заключил, что *статическая индукция зави-*

¹ Из приведенного опыта легко получается для специфическом индуктивной способности диэлектрической постоянной *D* шеллака по отношению к воздуху $D = 175/114 = 1,5$, или, принимая во внимание, что изолирующее вещество состояло

сит от среды и, следовательно, не может быть непосредственным действием на расстоянии. Вещества, через которые может происходить индукция, он назвал *диэлектрическими*. Это название по существу совпадает с понятием изолятора. Тем не менее Фарадей старается доказать, что *проводники и непроводники отличаются друг от друга не абсолютно, а лишь по степени*. С последней целью он исследует *электрический разряд*. Свойствам последнего посвящены двенадцатая и тринадцатая серия «Опытных исследований», а только что описанные опыты составляют предмет одиннадцатой серии ¹.

Электрический заряд тоже зависит от диэлектрика. Длина разряда оказалась различной, в зависимости от рода газа, через который разряд происходил; *окраска разрядного света* тоже изменялась с газами; наконец и *форма разряда*, была ли то *искра, пучок или свечение*, тоже определялась свойством диэлектриков. Но особенно интересным оказался случай, который Фарадей описал под названием *темного разряда*. «Два латунных стержня в 0,3 дюйма толщины были введены с противоположных сторон в стеклянный шар до взаимного соприкосновения, воздух в шаре был сильно разрежен. Через стержни был пропущен электрический разряд из машины, и во время прохождения разряда концы стержней были отделены друг от друга. В момент отрыва на конце отрицательного стержня появилось длительное свечение, между тем как положительный оставался совершенно темным. При увеличении расстояния на конце положительного стержня появился пурпуровый сноп или туман, направлявшийся прямо к отрицательному стержню; с увеличением промежутка этот сноп удлинялся, но никогда не доходил до соприкосновения с отрицательным свечением:— между ними постоянно оставался короткий темный промежуток. Последний длиною в $\frac{1}{16}$ — $\frac{1}{29}$ дюйма, по-видимому, не изменялся ни по ширине, ни по положению по отношению к отрицательному стержню... Разъяснение этих явлений было бы очень важно, потому что, очевидно, при многих опытах... разряд через темную часть диэлектрика происходит в таком же точно объеме, как и через светлую часть. Такое различие результата (положительного и отрицательного разряда) указывает, по-видимому, на то, что обе электрические силы приводятся различным образом в равновесие в соответствующих частях; и если смотреть на эти явления, как на дальнейшее доказательство того, что основания распределения и разряда следует искать в состоянии частиц диэлектрика, то было бы крайне важно знать в точности, в чем заключается различие действия в темных и светлых частях ². Вообще Фарадей ожидал — и мы полагаем вполне

лишь на половину из шеллака, $D=2$. Для спермацета Фарадей получил $D=1,3$ — $1,6$; для стекла $D=2,2$; для серы $D=24$; для всех газов D оказалось постоянным числом.

¹ Experimental researches... series XI; On static induction; differential inductometer, Philosophical Transactions, 1838; „Pogg. Ann.“. XLVI, 1838; series XII: On static induction continued, Philosophical Transactions, 1838; „Pogg. Ann.“, XLVII, 1839; series XIII: On static induction continued; nature of the electric current; its transverse forces, Philosophical Transactions. 1838; „Pogg. Ann.“, XLVIII, 1839.

² „Pogg. Ann.“, XLVIII, стр. 430 — 432; 1839.

обоснованно — больших результатов от изучения явлений разряда. «Результаты, связанные с различными явлениями положительного и отрицательного разряда, — говорит он в другом месте, — повлияют на теорию электричества сильнее, чем мы теперь думаем, в особенности, если они, как я полагаю, зависят от особенностей и степени поляризованного состояния частичек диэлектрика»¹.

Фарадей затем устраняет принципиальное различие между проводниками и изоляторами, рассматривая *всякую проводку электричества, как разряд между соприкасающимися частями тела*, происходящий в одних веществах очень быстро, а в других медленно. Тем не менее, различие между проводниками и изоляторами продолжает быть для Фарадея очень важным пунктом, так как оно по существу находится в связи с молекулярной теорией распределения и способом восприятия и сохранения частицами тела поляризованного состояния»². Но заряд тела находится в самой тесной связи с распределением электричества, поэтому *выражения «свободный заряд» и «связанное электричество» приводят к неправильным представлениям*, если ими хотят выразить какое-либо различие в способе их действия. «Заряд на изолированном проводнике, помещенном посредине комнаты, находится в таком же отношении к стенам этой комнаты, в каком заряд на внутренней обкладке лейденской банки относится к внешней обкладке последней. Ни один из них нельзя считать ни более свободным, ни более связанным, чем другой»³.

Замечания Фарадея о статической индукции не встретили такого же безраздельно благоприятного приема, как прежние его исследования. Большинство физиков, особенно же немецких, не были согласны с его борьбой против actio in distans. Так, прежде всего Рисс⁴, известный знаток электричества от трения, собравший в 1853 г. все свои исследования по этому отделу, начатые им в 1834 г., в обширном сочинении «Die Lehre von der Reibungselektricität» («Учение об электричестве от трения»), старался показать, что хотя при электрической индукции и нельзя отрицать действия на диэлектрик, но непосредственное действие на расстоянии кондуктора на кондуктор остается здесь все-таки главным моментом. Относительно *математического закона разряда* Рисс установил около этого времени следующие положения: 1) *отталкивание близко расположенного шара внутреннейю поверхностью электрической батареи пропорционально квадрату плотности*

¹ „Pogg. Ann.", XLV II. стр. 286, 1839.

² Там же, XLVIII, стр. 461, 1839.

³ Там же, Ergänzungsband, I, стр. 254, 1839.

В старом споре, *способно ли связанное электричество действовать вовне*, Фарадей стоял, конечно, на стороне тех, которые утверждали о наличии этой способности, так как он не признавал свободного электричества в собственном смысле. Выражение „связанное или скрытое электричество" ввел Лихтенберг (Erleben Anfangsgründe der Naturlehre mit Zusätzen von Lichtenberg, 3. Aufl., 1784) по аналогии со скрытой теплотой. Рисс („Pogg. Ann.", LXXIII, стр. 367, 1848) предложил заменить это выражение, с которым связано неправильное представление, выражением *электричество через влияние*.

⁴ Peter Theophil Riess родился 27 июня 1805 г. в Берлине, умер 22 октября 1883 г. в Берлине, профессор физики и член академии в Берлине.

274 ТЕОРИЯ БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЛ

электричества, а отталкивание шара, расположенного на некотором расстоянии, пропорционально уже только первой степени плотности; 2) длина разряда пропорциональна плотности накопившегося электричества; 3) повышение температуры от разряда в проволоке разрядника пропорционально произведению количества электричества на его плотность; 4) повышение температуры в различных проволоках равной длины, сделанных из одного и того же металла, при равном количестве электричества обратно пропорционально четвертой степени диаметра проволоки; 5) отклонение магнитной иглы проволокой, через которую медленно разряжается батарея, уменьшается с увеличением поверхности батареи¹. Уже ранее этого Уитстон² работал над разрядом электрических батарей и при помощи своего известного зеркального прибора измерил продолжительность разрядной искры, которая оказалась равной 0,000042 сек.; скорость происходящего при этом разрядного тока составила 62 500 миль в секунду.

Постепенно, придя к убеждению, что все влияния статического электричества происходят при посредстве среды, Фарадей старался распространить эту мысль и на все полярные силы, «так как всякая сила находит или развивает поблизости от себя противоположную силу, и ей нет, поэтому нужды искать эту силу на расстоянии»³. Но здесь Фарадей еще не устраняет полностью действия на расстоянии; наоборот, он определенно отмечает, что под соседними частицами он всегда подразумевает лишь такие, «которые лежат ближе всего друг к другу, но никак не части тела без всякого промежутка между ними»⁴. Вслед за этим, рассматривая поперечные, или магнитные, силы электрического тока⁵, он тоже пришел к малоблагоприятным результатам. Опыты даже показали, «что хотя сила распределения статического электричества передается на расстояние, благодаря действию промежуточных частиц, тем не менее, поперечная сила распределения токов, тоже способная действовать на расстоянии, не распространяется таким же образом через посредство промежуточных частиц»⁶. Однако он не считал эти опыты ни доказательными, ни решающими и все-таки считал «возможным и даже вероятным, что магнитное действие передается на расстоянии через посредство промежуточных частиц»⁷.

Здесь Фарадей дошел до трудного, может быть, самого трудного пункта во всех своих работах, и опытные его исследования на целые

¹ „Pogg. Ann.“, XL, стр. 335, 1837.

² Philosophical Transactions, стр. 583, 1834; „Pogg. Ann.“, XXXIV, стр. 464, 1835.

Charles Wheatstone родился в 1802 г. в Глостестере, умер в 1880 г. в Лондоне, сначала — мастер музыкальных инструментов, потом — профессор физики в лондонском King's College, конец жизни провел в качестве частного лица в Лондоне.

³ „Pogg. Ann.“, XLVIII, стр. 538—539, 1839.

⁴ Там же, стр. 538.

⁵ Experimental researches..., series XIV: Nature of electric forces; relation of the electric and magnetic forces; Philosophical Transactions, 1838; „Pogg. Ann.“, Ergänzungsband, I, 1839.

⁶ „Pogg. Ann.“, Ergänzungsband, I, стр. 270—271, 1839.

⁷ Там же, стр. 272.

ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНЫХ СИЛ 275

годы отклонились от главной темы. В этот промежуток он показал, что *сила электрических рыб по всем своим действиям тождественна с электричеством из других источников*¹, снова занимался, как было уже упомянуто, *теорией гальванического элемента*² и в 1843 г. исследовал незадолго до того открытое *паровое электричество*³. В 1840 г. близ Ньюкасла надсмотрщик при машине, приблизив одну руку к неплотно заклепанному месту парового котла, из которого выходил пар, а другою, взявшись за рычаг предохранительного клапана, почувствовал электрический удар. Об этом в конце 1840 г. узнал механик Армстронг⁴, который вскоре установил, что пар, вырывающийся из предохранительного клапана, всегда наэлектризован положительно, тогда как паровой котел, если его изолировать, всегда проявляет свободное отрицательное электричество. Относительно источника этого электричества сам Армстронг не пришел ни к какому выводу. Фарадей же определенно выяснил, что *главным источником электричества в данном случае является трение частичек конденсированного водяного пара о стенки выводного канала*.

Несмотря на эти отклонения в сторону, Фарадей не только не упускал из виду своей главной темы, но работал над ней очень усиленно — это показали последовавшие, начиная с 1846 г., серии его «Экспериментальных исследований». *Идеи Фарадея о посредственном дальнем действии всех полярных сил*, будучи применены к магнитным силам, приводили к возможности намагничивания всяких веществ и возможности воздействия поперечных сил электрического тока на всякие тела. *Сначала эта мысль показалась скорее порождением пылкой фантазии или же шаткой философии, чем результатом точной науки*. Но если о дереве можно судить по его плодам, то как раз эта мысль доказала свое право на существование более убедительно, чем многие иные гипотезы, свободные от каких-либо философских погрешностей⁵.

Для выявления малейших молекулярных изменений внутри прозрачных тел Фарадей применил поляризованный свет. Свет аргантовой лампы, поляризованный путем отражения от стеклянной поверхности в горизонтальной плоскости, проходил через исследуемое прозрачное вещество, затем через николеву призму, которую можно было вра-

¹ Experimental researches..., series XV: On the character and direction of the electric force of the Gymnotus; Philosophical Transaction, 1839; „Pogg. Ann.", Ergänzungsband, I, 1839.

² Experimental researches..., series XVI и XVII: On the source of power in the voltaic pile, Philosophical Transactions, 1840; „Pogg. Ann.", LII и LIII, 1841.

³ Experimental researches..., series XVIII: On the electricity evolved by the friction of water and steam against other bodies, Philosophical Transactions, 1843; „Pogg. Ann.", LX, 1843.

⁴ Phil. Mag. (3) , XVII и XVIII, 1840; „Pogg. Ann.", LII, стр. 328, 1841. Описание гидроэлектрической машины; „Pogg. Ann.", LX, стр. 352, 1843.

⁵ Приводимые ниже места из ответа Фарадея братьям Девенпорт, приглашавшим его на спиритический сеанс, показывают, что в нем смелость философа уживалась с осторожностью эмпирика: „Очень вам благодарен за ваше любезное приглашение, но и уже так часто разочаровывался в проявлениях духов, которые мне доводилось в разное время наблюдать, что у меня уже нет более охоты заниматься ими... Они уже мне надоели" (Тиндаль, Фарадей и его открытия).

276 ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ СИЛ НА СВЕТ

щать около горизонтальной оси, и затем — в глаз наблюдателя. Призма устанавливалась таким образом, что получалось полное затемнение поля зрения. Когда после этого исследуемое вещество подвергалось действию магнитных сил, то погашенный никодем свет снова появлялся, а для того, чтобы снова добиться максимального затемнения, приходилось никодем повернуть на некоторый угол. За исключением всех газов разных тел и некоторых кристаллов, все прозрачные вещества оказались обладающими такою способностью, и особенно резко *кремнеборное стекло*. *Борнокислая окись свинца* вращала плоскость поляризации почти столь же сильно, слабее *флинтглас*, еще слабее *кронглас* и т. д. *Величина вращения оказалась пропорциональной толщине пройденного слоя прозрачного вещества и силе тока; с изменением магнитной полярности изменялось и направление вращения плоскости поляризации*. Если какой-либо жидкости самой по себе была свойственна вращательная способность, то последняя не влияла на магнитное вращение; она прямо прибавлялась или вычиталась ¹. Результаты Фарадея были тотчас же подтверждены Р. Боттгером ², Пуллье ³, Беккерелем ⁴ и др. Последний усилил вращение тем, что пропустил поляризованный луч света через пробуравленную арматуру магнита. Фарадей полагал, что вращение плоскости поляризации происходит вследствие непосредственного действия магнитных сил на световой эфир, и поэтому назвал данное явление — *магнетизацией света*. Другие же физики думали, что это не прямое действие, а действие, передающееся через посредство частиц прозрачного тела. Этот вопрос и доньше (1887 г.) окончательно не разрешен.

После того как Фарадей таким образом доказал удивительное влияние магнитных сил на свет, ему удалось при помощи более сильных приборов показать также *влияние тех же сил на все вещества* и тем самым обеспечить возможность подтверждения своей догадки о единстве всех полярных сил. Подвесив перед полюсом сильного электромагнита в очень подвижном положении тяжелое стекло, он заметил ⁵, что оно отталкивается электромагнитом. Продолговатый кусок того же стекла располагался между полюсами подковообразного электромагнита не параллельно, а перпендикулярно к его оси, не вдоль оси, а по экватору. Испытав затем самые разнообразные тела, Фарадей доказал, что при достаточной силе магнит влияет на все известные твердые и жидкие вещества. *Тела, которые располагаются экваториально к магниту, он назвал диамагнитными*, в отличие от тех, которые в своих движениях следуют обыкновенным магнитным телам. Впослед-

¹ Experimental researches..., series XIX: On the magnetization of light and the illumination of magnetic lines of force, Philosophical Transactions, 1846; „Pogg. Ann.", LXVIII, 1846.

² Rudolf Böttger родился 28 апреля 1806 г. в Ашерслебене, умер 29 апреля 1881 г. во Франкфурте на Майне, преподаватель французского общества во Франкфурте на Майне, „Pogg. Ann.", LXVII, стр. 290, 1846.

³ „Comptes rendus". XXII, 1846.

⁴ „Annales de chimie et de physique" (3), XVII, 1846.

⁵ Experimental researches..., series XX и XXI: On new magnetic actions and the magnetic conditions of all matter, Philosophical Transactions, 1846; „Pogg. Ann.", LXIX и LXX, 1846 и 1847.

ствии он стал употреблять слово «магнитный» в собирательном смысле, а обычные магнитные тела стал называть *парамагнитными*. К магнитным телам он отнес: железо, никель, кобальт, платину, палладий, бумагу, сургуч, тушь, фарфор и др.; к диамагнитным: тяжелое стекло, горный хрусталь, фосфор, висмут, антимоний, олово, ртуть, серебро, медь и т. д.¹ Странным и несвязанным с прочими магнитными явлениями оставался в то время факт, что многие металлы, например серебро, медь, золото и пр., после включения тока упорно сохраняли между полюсами электромагнита то положение, которое им было дано до включения тока.

Диамагнетизм всех веществ был, по-видимому, действием индукции, так как сила его зависела от силы электромагнита. Поэтому представлялось наиболее естественное объяснить диамагнетизм тем, что *магниты индуцируют в диамагнитных телах не противоположные, а одноименные полюсы*, или же что в частицах тех возникают токи не согласно амперовскому правилу, а в обратном направлении. Но в сущности это выражало лишь внешнюю сторону явлений и представлялось, кроме того, маловероятным. Поэтому Фарадей обратился к исследованию другой возможности, именно к *объяснению отталкивания диамагнитных тел их относительно слабой магнитностью по сравнению с магнетизмом окружающей среды*. Эта задача привела его к изучению магнитных явлений в газах². После многих опытов над стеклянными трубками с заключенными в них газами, опытов, в которых Фарадей наблюдал скорее магнитные свойства трубок, чем газов, он пришел, наконец, к мысли пропускать струи газа между полюсами магнита и сделать их видимыми (если они бесцветны) при помощи паров аммиака и соляной кислоты. Конечно, и здесь он не получал в чистом виде магнитных действий только на газ; но во всяком случае он имел дело с разностью действий двух газов. Таким путем Фарадей установил, что *из всех газов только один кислород является по отношению к атмосферному воздуху магнитным, все же прочие — диамагнитными*;

¹ С каким упорством Фарадей доискивался доказательств своих идей, которые он теоретически считал вероятными, можно увидеть из следующего. Уже в 1836 г. он считал возможным, что металлы кажутся немагнитными лишь потому, что даже сравнительно низкие температуры уничтожают их магнитную силу. С этой целью он испытал металлы с точки зрения их магнитной силы, охлаждая их до — 50° С, однако, безрезультатно („Pogg. Ann.", XXXVII, стр. 423, 1836). В 1839 г. эти опыты были повторены при — 80° С и опять без успеха („Pogg Ann.", XLVII, стр. 218, 1839). В 1845 г. Фарадей заметил, что кроме железа и никеля, кобальт тоже магнитен. Наконец, в 1846 г. он пришел к общим своим результатам. Впрочем, отрывочные наблюдения об отталкивании тел магнитами были сделаны и раньше. Бругманс указывал на отталкивание висмута в 1778 г., Беккерель („Bullet, univers. de sciences", VII; „Pogg. Ann.", X, стр. 292) утверждал то же самое относительно висмута и сурьмы. Зеебек („Pogg. Ann.", X, стр. 203, 1827) полагал, что на все вещества, содержащие железо, магнит действует, и наблюдал явления *поперечного магнетизма* на стеклянных трубках, наполненных железными опилками. (Объяснение этого кажущегося поперечного магнетизма на парамагнитных телах см. *Wiedemann, Die Lehre v. d. Elektrizität*, III, стр. 794—795, 1883.)

² Experimental researches..., series XXI. Позднее Phil. Mag. XXXI; On the diamagnetic conditions of flame and gases, Декабрь, 1847; также „Pogg. Ann", LXXIII, стр. 257, 1848.

278 НАБЛЮДЕНИЯ НАД ЗЕМНЫМ МАГНЕТИЗМОМ

по отношению к угольной кислоте кислород, атмосферный воздух, окись азота и др. оказались магнитными. Уже на основании этого можно было считать, что *пламя свечи в воздухе должно быть диамагнитно и будет отталкиваться магнитными полюсами*¹. Аналогичные результаты Фарадей впоследствии получил еще и другим путем, а именно: он наполнял исследуемым газом мыльные пузыри и помещал их между полюсами своих электромагнитов².

После этого Фарадей перешел к теоретическому истолкованию полученных им результатов. Ввиду того, что наша атмосфера содержит в себе немалую долю столь сильно магнитного тела, как кислород, то, по мнению Фарадея, она не может не оказывать влияния на *магнитное состояние земного ядра*; и он попытался объяснить периодические колебания постоянных земного магнетизма периодическими влияниями Солнца на земную атмосферу³. Как раз в это время проводилась усиленно работа по определению названных постоянных и законов их изменений. По инициативе Гаусса и Гумбольдта возник особый *магнитный союз*, который ежегодно в течение определенных семи дней производил одновременно через очень короткие промежутки времени наблюдения над магнитной стрелкой в более чем двадцати станциях, рассеянных почти по всей Европе; этим наблюдениям соответствовали, кроме того, другие, производившиеся на других материках и даже на море. Наблюдения Магнитного союза закончены почти одновременно в 1842 г. Ламон впоследствии отметил, что ценность большинства этих наблюдений не вполне соответствовала приложенному усердию и затраченной на них работе⁴. Наиболее важным плодом этих наблюдений следует, во всяком случае, считать издававшиеся Гауссом и В. Вебером «*Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins 1836 bis 1841*, Göttingen 1837 bis 1843 («Результаты наблюдений Магнитного союза от 1836 до 1841 г.»). Здесь приведено описание и теория построенных Гауссом новых инструментов для точного определения элементов земного магнетизма, а именно *унифилярного магнитометра* («*Resultate ...*», I, 1837), *бифилярного магнитометра*⁵ («*Resultate ...*», II, 1838), равно как изобретенного В. Вебером инклинатора («*Resultate...*» 1837). Помещенная Гауссом в третьем томе этих

¹ Это явление А. Банкалари описал ранее Фарадея в сентябре 1847 г.; Зантедески расширил и подтвердил его наблюдение (Расс. fis. chim. III: „Pogg. Ann.“, LXXIII. стр. 286). Извещенный последним Фарадей вновь принялся за свои опыты с магнетизмом газов (*Тиндаль*, Фарадей и его открытия, стр. 104).

² Experimental researches.... series XXV: On the magnetic and diamagnetic condition of bodies, Philosophical Transactions 1851; „Pogg Ann.“, Ergänzungsband. III, 1853.

³ Experimental researches..., series XXVI: Magnetic conducting power; atmospheric magnetism. Philosophical Transactions, 1851; „Pogg. Ann.“, Ergänzungsband, III, 1853.

⁴ Die Fortschritte der Physik, издано Берлинским физическим обществом III, стр. 517—562, 1847.

⁵ Незадолго до Гаусса У. Сноу Гарис уже рекомендовал бифилярное подвешивание и сам применил его для одной разновидности крутильных весов (Philosophical Transactions, 1836). Ср. *Stahlin*, Die Lehre. v. d. Messung der Kräfte mittelst der Bifilarsuspension, напечатанное в „Principien einer elektrodynamischen Theorie der Materie“ von Zöllner, Leipzig 1876, стр. CII.

«Результатов» *теория земного магнетизма* представляет собою скорее математическое исследование о распределении магнетизма по земной поверхности на основании отдельных наблюдений, чем исследование о причинах и сущности земного магнетизма. Но зато огромное значение и притом не для одного только магнетизма, но для всех вообще физических дисциплин получила его работа *«Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revacata»* («Интенсивность магнитной силы Земли, измеренная в абсолютных мерах») ¹.

Так как все силы могут быть определены и измерены только по вызываемым ими движениям, то для определения всех сил необходимы только три основные единицы меры: единица пространства, единица времени и единица массы. Если все прочие единицы меры выведены только из этих трех единиц, то все данные измерения становятся сравнимыми; такую систему мер Гаусс называет *абсолютной*. За единицу времени он принимает секунду, за единицу длины — миллиметр, за единицу массы — массу одного миллиграмма ². При этих условиях единицей силы является такая сила, которая единице массы в единицу времени сообщает ускорение равное единице. Единицей магнетизма является такое количество его, которое на равное ему количество магнетизма на расстоянии, равном единице, действует с силой, равной единице.

Такая методика определения, которую можно легко перенести и на другие физические явления, получила после Гаусса постепенно распространение и, в свою очередь, подготовила почву для идеи о единстве всех сил природы.

В это самое время Фарадей изучал распространение магнетизма в телах еще и с другой стороны. Совершенное тождество всех сил природы, в особенности экспериментально установленная связь между электричеством, магнетизмом и светом, заставляли предполагать, что *в кристаллах магнетизм, подобно свету, распространяется различно в разных направлениях*. Уже ранее этого он произвел подобные опыты с влиянием статического электричества, которые, однако, дали отрицательные результаты ³; теперь же ему удалось получить результаты, свидетельствующие о несимметричном действии магнетизма в кристаллах. Плюкер в 1847 г. заметил ⁴, что оптически одноосный кристалл

¹ Comm. Soc. Gött., VIII, 1832—1836; „Pogg. Ann.", XXVIII, стр. 241, 591, 833; Gauss' Werke, V, стр. 79—118.

² Под миллиграммом здесь следует подразумевать тысячную часть нормального грамма; под миллиметром такую же часть нормального метра; под секундой $\frac{1}{86400}$ часть среднего солнечного дня, который, в свою очередь, зависит от звездного дня и от продолжительности года. Но, в конце концов, это все — произвольные искусственные единицы. Более общими естественными единицами были бы для длины — длина волны определенного рода света в пустоте, для времени — продолжительность колебания того же света; для массы — масса одной молекулы определенного вещества. Указывая на эти единицы, Максвелл прибавляет: такие единицы следовало бы принять тем, „которые хотят обеспечить за своими сочинениями более долгую продолжительность, чем существование нашей планеты". (Maxwell, Elektrizität und Magnetismus, Berlin 1883, I, стр. 5 и 6).

³ Experimental researches..., series XIV; „Pogg. Ann.", Ergänzungsband, I, стр. 259, 1839.

⁴ „Pogg. Ann.", LXXII, стр. 315, 1847.

280 ФАРАДЕЙ О ЕДИНСТВЕ ВСЕХ СИЛ

располагается между полюсами подковообразного электромагнита своею осью перпендикулярно к оси магнита и что это явление не зависит от пара- или диамагнитного характера кристалла. Фарадей нашел, что искусственно кристаллизованный висмут располагается не диамагнитно, а таким образом, что его главная плоскость раскола становится параллельной магнитной оси и что это положение не зависит вообще от какой-либо формы висмута. *Подобные же магнитные явления, не зависящие, подобно пара- и диамагнитным, от внешней формы, но находящиеся в связи с кристаллографическими или оптическими осями кристалла, были потом найдены и на ряде других веществ, как сурьма, мышьяк и т. д.* Фарадей, кроме того, доказал, что эти магнитные силы не притягивают и не отталкивают, а действуют лишь направляющим образом, вследствие чего он считал необходимым отличить их и по названию от магнитных сил. Эти силы он назвал *магникристаллическими*, а оси, по которым они действуют, — *магникристаллическими осями* ¹. Так как эти силы зависят от молекулярных свойств вещества, то от исследования их он ожидал очень многого для *молекулярной теории*.

Очень характерны следующие слова его, касающиеся вопроса о сущности силы: *«Не могу закончить этот ряд исследований, не отметив, как быстро растут наши знания о молекулярных силах, с какой яркостью каждое исследование выявляет их важность и делает изучение их привлекательным. Еще немного лет тому назад магнетизм был для нас темной силой, действующей на очень немногие тела; теперь же мы знаем, что он действует на все тела и находится в самой тесной связи с электричеством, теплотой, химическим действием, со светом, кристаллизацией, а через последнюю — с силами сцепления. При таком положении вещей мы чувствуем живую потребность продолжать свои работы, воодушевляемые надеждой привести магнетизм в связь даже с тяготением»* ².

Закончив в следующей серии свои исследования о магникристаллической силе ³, Фарадей перешел к выполнению только что намеченной им задачи ⁴. С этой целью он завил изолированную медную проволоку в 350 фут. длиной, в виде полого цилиндра, длиною в 4 дюйма, с внутренним диаметром в 1 дюйм и наружным в 2 дюйма, присоединил к концам этого цилиндра два скрученных вместе провода, которые вели к чувствительному гальванометру, и затем с высоты 36 футов бросал цилиндр на мягкую подушку таким образом, чтобы при падении ось спирали все время оставалась вертикальной. Однако при этом ему не удалось подметить и намека на превращение силы падения в электричество. Эту серию обоих сообщений он опять заканчивает следую-

¹ Experimental researches..., series XXII: On the crystalline polarity of bismuth (and other bodies) and of its relation to the magnetic form of force; Philosophical Transactions, 1849; „Pogg. Ann.", LXXVI, 1849, Ergänzungsband, III, 1853.

² „Pogg. Ann.", Ergänzungsband, III, стр. 56, 1853.

³ Experimental, researches..., series XXIII: On the polar or other conditions of diamagnetic bodies, Philosophical Transactions 1850; „Pogg. Ann.", LXXXII, 1851.

⁴ Experimental researches..., series XXIV: On the possible relation of gravity to electricity, Philosophical Transactions, 1851; „Pogg. Ann." Ergzbd., III, 1853.

ЕДИНСТВО СИЛ ПО ФАРАДЕЮ. РЕАЛЬНОСТЬ ЛИНИЙ СИЛ 281

щими характерными словами: *«На этом пока мои опыты заканчиваются; результаты их отрицательны, тем не менее, моя уверенность в существовании связи между силой тяжести и электричеством ими не поколеблена»*¹.

Все работы Фарадея по физике одухотворены его взглядом на силу, и этот взгляд оригинален в двух отношениях. Никакая сила не действует непосредственно на расстоянии, и все силы природы способны превращаться друг в друга, представляя по существу лишь формы одной единственной силы. Никогда он не представлял себе силы, пребывающей в какой-либо точке и действующей непосредственно на удаленные тела. Для него всякая сила есть ось силы или линия силы, которая существует везде, где сила проявляет свое действие. Линиями сил светящегося тела являются световые лучи, которые из него исходят; у нагретого тела это — тепловые лучи; линии магнитных сил определяются железными опилками, которыми посыпают магнит и возле магнита; их можно также выявить, если маленькую магнитную иглу при всяком занимаемом ею положении перемещать в направлении ее длины таким образом, чтобы она всегда представляла собою касательную к линии движения. *Вообще же линия силы есть траектория точки, движущейся постоянно в направлении действующей на нее силы или перемещающейся таким образом, что путь ее пересекает поверхности уровня силы под прямым углом.* Если представить себе построенными для известной силы и известного пространства все линии силы, то густота и направление их в каждой точке дает величину и направление действующей в этой точке силы. Не владея мощными вспомогательными средствами математики, Фарадей для выражения напряженности силы в какой-либо точке прибегал к наглядному построению своих линий силы. Это сказывается уже в первых его работах с электрической индукцией и затем во всех последующих. Но более систематично он разработал их теорию в последних сериях своих «Экспериментальных исследований ...»². Однако здесь линии сил уже рассматриваются Фарадеем не только как графическое средство, а их *действительное существование* признается им, по меньшей мере, вероятным. *Так как сила действует повсюду в пространстве, то и линии сил должны постоянно наполнять все пространство, и физическое существование линий сил необходимо предполагает непрерывное наполнение пространства.* Здесь Фарадей начинает полемизировать против атомистической теории, выявляя ее слабые стороны. *В конце концов, он приходит к радикальному представлению о материальности всего непрерывного пространства.* Но эти идеи он не выдает ни в качестве

¹ „Pogg. Ann.", Ergänzungsband. III, стр. 72.

² Experimental researches..., series XXVIII: On lines of magnetic force, their definite character and their distribution within a magnet and through space; Philosophical Transactions, 1852; series XXIX: On the employment of the induced magneta electric current as a test and measure of magnetic force, Philosophical Transactions, 1852; series XXX: Constancy of differential magnecrystailic force in different media. Action of heat on magnecrystals, Philosophical Transactions, 1855. В „Poggendorfs Annalen" вместо перевода этих трех серий „за недостатком места" приведено лишь краткое извлечение.

282 СОХРАНЕНИЕ И ПРЕВРАЩЕНИЕ СИЛ ПО ФАРАДЕЮ

твёрдо установленных гипотез, ни в качестве отстаиваемых им непреложных основ своей физики. Для него это не более, как подлежащие *еще* обсуждению возможности, при которых не исключается проработка прямо противоположных идей. Свои идеи он предлагает лишь как материал для дискуссии или, самое большее, для новой экспериментальной проверки. *Они предназначаются им не для учащихся, а для проверки их работниками в области физики.* Это значительно затрудняет их описание, но зато проверка их интересна и поучительна.

В то время как в этих воззрениях на действие сил отрицание возможности какого бы то ни было непосредственного действия на расстоянии выступает как догадка или как идеальное построение, *способность всех сил природы к превращению* Фарадей уже раньше считал общим бесспорным началом природы. Это ясно вытекает из всех его рассуждений, и еще до 1840 г. он определенно высказывает мысль о количественном сохранении сил во всех формах: *«со временем мы будем в состоянии сравнивать между собою такие молекулярные силы, как тяжесть, сцепление, электричество, химическое сродство, и выводить тем или иным образом их относительные эквиваленты и их эффекты; теперь же мы еще не в состоянии делать это»*¹. Но тут, конечно, мог бы возникнуть вопрос, почему же сам Фарадей не доказал сохранения сил при всех ее превращениях. В ответ на это можно было бы, пожалуй, указать, что гений Фарадея был достаточно мощен, чтобы при разрешении поставленных им себе задач возместить все пробелы в его предварительной научной подготовке, но в самом выборе этих задач сказывался недостаточный интерес к проблемам математического порядка.

*Фарадей представляет крайне своеобразную личность в ряду физиков. Насколько все его исследования тесно связаны друг с другом, настолько же они составляют замкнутое целое. Связь Фарадея с другими физиками односторонняя; он почти всегда дает другим и очень редко сам получает от других. Он не заимствует своих задач случайно у других физиков, а выводит их самостоятельно из самой сути дела. Им движут не господствующие идеи его времени, а собственные его воззрения, которых современники почти не понимают и уж во всяком случае, не разделяют. Поэтому он не создал школы в обычном смысле этого слова; многие физики даже сознательно сторонились от всяких влияний с его стороны. Его великие экспериментальные открытия: гальваническая индукция, законы электролиза, магнетизация света и диамагнетизм встретили горячее сочувствие и распространили повсюду славу Фарадея. Но идеи его, связанные с этими открытиями, встретили больше противников, чем друзей, и лишь в последнее время*², *благодаря Томсону, Тиндалю и особенно Максвеллу, линии сил Фарадея получили всеобщее признание, и теперь едва ли найдется учебник по магнетизму или электричеству, в котором бы их не было; кроме того, учение о потенциале так тесно*

¹ Experimental researches..., series XIV, § 1686; „Pogg. Ann.", Ergänzungsband, I, стр. 255, 1839.

² Т. е. около 1887 г. Прим. ред.

связано с теорией линий сил, что широкое применение первого из этих понятий можно считать победой идей Фарадея. Можно ли, однако, принимать в полном их объеме все воззрения Фарадея на сущность силы и материи, — об этом мы предоставляем судить читателю. Мы с нашей стороны, в виду характерной цельности и законченности его научной личности, сочли себя вправе изложить здесь полностью всю его деятельность, хотя некоторыми своими сторонами, особенно последними своими идеями, она в значительной мере принадлежит к новейшей эпохе физики ¹.

Наряду с указанными успехами в области теории электричества нам остается еще упомянуть о первых шагах электротехники в этот период. Выше было упомянуто о неудачных попытках применить электричество для получения механической работы, и обратно, теперь же мы укажем на две новых ветви электротехники, которые за это время достигли сравнительно большой зрелости.

Даниэль вскоре после устройства своего элемента обратил внимание на то, что отлагающаяся на электроде медь очень легко может быть с него снята целиком, и тогда получается обратный, но совершенно правильный слепок с электрода. В 1836 г. де-ла-Рив сделал такое же наблюдение, но мысль о техническом применении этого явления была высказана впервые Якоби в феврале 1837 г., а в сентябре того же года Спенсером. Якоби изложил свои соображения в «Philosophical Magazine» (XV, 1839), а затем в отдельной работе «Die Galvanoplastik» (Петербург 1840) привел точные и подробные указания, касающиеся получения гальванопластических отпечатков. Далее, благодаря работам Р. Беттхера, Коббеля и др., гальванопластика получила быстрое развитие; в это же время развилось гальваническое осаждение металлических налетов на другие металлы ².

¹ Не могу не привести здесь превосходного сравнения Фарадея с Ампером данного Максвеллом в его „Учебнике электричества и магнетизма“. „Хотя он (Ампер) придерживается в своем изложении индуктивного метода, однако он не дает возможности заглянуть в лабораторию своей мысли. Мы не видим, каким образом у него одно заключение следует за другим, и едва можем верить, что Ампер, действительно, вывел свой закон из тех опытов, которые он описывает. Можно подозревать — и он даже сам рассказывает об этом, — что закон был открыт им другим путем, о котором он, однако, ничего не сообщает, и что уже потом, когда для закона им было найдено полное доказательство, все подмости, служившие для постройки здания, были удалены.

Совсем иначе действует Фарадей. Он сообщает о своих неудачных опытах столько же, сколько об удачных, и излагает свои предварительные, еще не созревшие идеи наравне с вполне зрелыми. Поэтому читатель, даже далеко уступающий ему по силе индукции, чувствует к исследователю скорее симпатию, чем удивление, и в нем почти рождается уверенность, что и он сам, при подходящих условиях, мог бы сделать такие же открытия.

Учащийся должен читать Ампера, чтобы по этому блестящему образцу узнать, как следует поступать при обосновании и проработке открытия. Но если он желает развить в себе научное мышление, ему следует тщательно изучать также и исследования Фарадея, так как последний, раскрывая перед читателем историю своих открытий и весь ход своих идей, вызывает читателя на критику того пути, по которому он шел, и вместе с тем показывает, как следует вести научные изыскания“.

² Ср. *Johann Müller*, Bericht über die neuesten Fortschr. der Physik, I, стр. 448, Braunschweig 1849—1852. *Albrecht*, Geschichte der Electricität, стр. 296, Wien 1885.

284 ИЗОБРЕТЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕЛЕГРАФА

Мысль об *электрическом телеграфе* родилась тотчас же, как только был установлен факт легкой передачи электрических явлений на большие расстояния. Почти все виды электрических явлений поочередно предлагались по мере их открытия для применений к телеграфному делу. Однако задача устройства относительно дешевых приборов, обеспечивающих надежную и правильную передачу сигналов, была разрешена впервые именно в этот период. После того как Уатсону в 1747 г. удалось передать электричество на несколько миль по Темзе, некто *К. М.*, оставшийся неизвестным, предложил в *Scott's Magazine* в 1753 г. применить для телеграфирования электрические разряды и притяжение легких тел электричеством. Лесаж осуществил подобный план в 1774 г., употребив для сигнализации 25 проволок с бузиновыми шариками на концах. Сильва устроил в 1798 г. для испанского короля в окрестностях Мадрида телеграфную линию, на которой сигнализировали электрическими искрами. Однако все эти опыты оказались, в конце концов, безуспешными хотя бы уже вследствие непостоянства источника силы. В последнем отношении гальванический ток оказался более подходящим, но зато он оказался менее удобным для подачи сигналов. Так, например, идея Земмеринга (1809 г.) применить для сигнализации выделение пузырьков водорода на полюсе проводника, опущенного в воду, была, очевидно, невыполнима. Лишь после того как стало известно действие тока на магнитную стрелку, открылась действительная возможность применения его к телеграфному делу, и предложение в этом смысле было сделано Ампером еще в 1829 г. Однако препятствием к введению предложенного им гальванического телеграфа послужила дороговизна многочисленных проводов, и это препятствие было устранено лишь спустя долгое время после предложения Ампера. Есть основание думать, что Шиллинг в 1832 г. (эта дата не вполне выяснена) указал, что достаточно двух проводов для того, чтобы, изменяя по желанию направление тока, отклонять магнитную стрелку вправо или влево, и что, таким образом, комбинируя эти два закона на различные лады, можно передавать по телеграфу всю азбуку. Как бы то ни было, подобная мысль была осуществлена независимо от Шеллинга, Гауссом и В. Вебером в Геттингене в 1833 г. Источником тока служила им индукционная катушка¹. Штейнгель в Мюнхене тоже стал с 1837 г. применять для телеграфирования индукционные токи, которые он получал с помощью электромагнитной машины, схожей с машиной, изобретенной в 1833 г. Пиксиом.

Гаусс пишет Ольберсу 20 ноября 1833 г.: „Не знаю, писал ли я Вам уже раньше об устроенном нами великолепном приспособлении. Речь идет о гальванической цепи между обсерваторией и физическим кабинетом при посредстве проволок, проведенных по воздуху над домами, поднимающихся на Иоганнистурм и оттуда спускающихся вниз. Вся длина проволоки составляет около 8000 футов. На обоих концах она соединена с мультипликатором... Я придумал очень простое приспособление для мгновенной перемены тока, которое я называю коммутатором. Это устройство было испытано нами для телеграфирования, вполне удались опыты с передачей целых слов и даже простых фраз... Я уверен, что если применять достаточно толстые провода, можно будет телеграфировать *непосредственно* из Гёттингена в Ганновер или из Ганновера в Любек" (*Gauss, Festrede von Schering, Göttingen 1877, стр. 15—16*).

Он достиг того, что его магнитные иглы давали сигналы, которые можно было различать на слух, знаки, воспроизводимые иглами, могли записываться; кроме того, он заметил — а это было не менее важно для практики, — что для обратного проведения электричества можно использовать землю, благодаря чему открылась возможность телеграфировать по одной проволоке. Этими открытиями была в принципе уже создана наша современная телеграфия. Уитстон, который, начиная с 1837 г., стал вводить свой стрелочный телеграф на английских железных дорогах, в сущности не ввел ничего нового, придав лишь аппарату более удобную для работы форму и вернувшись к применению элементов в качестве источников тока. Значительно больший прогресс представляло для телеграфного дела введение электромагнита Морзе. Первая модель Морзе была, как говорят, готова уже в 1835 г.; в 1840 г. она в основном получила нынешнее свой устройство, но лишь в 1844 г. была открыта для общего пользования первая линия, оборудованная аппаратами Морзе, между Вашингтоном и Балтимором. Электромагнит приемной станции весил еще 150 фунтов, следовательно, он еще был далек от того, что называется портативностью. Нынешнюю более компактную свою форму он получил позднее преимущественно благодаря профессору Пэджу¹.

ОПТИКА (приблизительно от 1830 до 1840 г.). Волновая теория света благодаря Френелю не только одержала окончательную победу, но была настолько основательно разработана, что оказалась в состоянии объяснить все вновь открытые сложные явления поляризации и двоякого преломления. Последователям Френеля на первых порах ничего больше не оставалось делать, как упростить сложные математические выводы Френеля, точнее обосновать его теорию упругости и применить его формулы к отдельным частным случаям. *Только в одном пункте Френель оставил теоретический пробел и вынужден был оставить его сознательно, а именно в объяснении различной преломляемости цветных лучей — этой основной и с давних пор злополучной для волновой теории проблеме.*

Преломляемость света зависит от скорости его распространения, а так как разноцветные лучи света обладают различной преломляемостью, то и скорость их распространения должна быть различной, т. е. *скорость света должна зависеть от длины волны. Однако ни наблюдение, ни теория не открывали такой зависимости.* Аналогия со звуком говорила прямо противоположное, так как после многочисленных опытов только что пришли к достоверному выводу, что все тоны распространяются в воздухе с одинаковой скоростью.

Путем непосредственного наблюдения над светом на земных расстояниях, в силу огромной скорости распространения света, конечно, результатов нельзя было получить, но и наблюдения над небесными телами не указывали на какое-либо различие скорости для разных цветов. По инициативе Ньютона, уже Флэмстид констатировал, что на-

¹ Cp. J. Müller, Bericht über die neuesten Fortschr. der Physik, I, стр. 557, Braunschweig 1849—1852. J. Hamel, Die Entstehung der galvanischen und elektromagnetischen Telegraphie, „Bull. de st. Petersb.“, II, стр. 97 и 298. Hoppe, Geschichte der Elektrizität, стр. 574. Albrecht, Geschichte der Elektrizität, стр. 256.

286 ОБЪЯСНЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА ПО ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ

чало и конец затмения спутников Юпитера не сопровождаются какими бы то ни было цветными явлениями. *Араго*, который при подобных же, но более благоприятных наблюдениях пришел к отрицательным результатам, высказал предположение, что для подобных измерений, может быть, и расстояние Юпитера от Земли слишком мало, но что на звездах с переменной яркостью, во всяком случае, должны были бы наблюдаться изменения цвета, если бы скорость распространения разноцветных лучей не была одинакова. Однако наблюдения над звездой Альголь, изменяющийся за $3\frac{1}{2}$ часа от второй величины до четвертой, привели его к тому выводу, что разность между скоростью распространения красных и фиолетовых лучей, во всяком случае, меньше 0,00001 их величины ¹.

Формулы Френеля для волнообразных движений эфира давали не только для пустоты, но и вообще, постоянную скорость распространения колебаний, которая зависит от упругости и плотности среды, но отнюдь не от длины волны колебаний. Пуассон считал этот результат аргументом против волновой теории ², но Френель указал, *что он при выводе своих формул оставил без внимания влияние молекул вещества на эфир, а если учесть это влияние, можно из волновой теории вывести объяснение дисперсии света* ³. Эту мысль с успехом разработал Коши, занимавшийся теорией упругости уже с 1822 г. и посветивший вопросу о дисперсии света ряд мемуаров, начиная с 1829 г. ⁴.

Коши принимает, что эфир состоит из атомов, взаимные расстояния которых сравнительно с их размерами бесконечно велики. В свободном эфире эти расстояния по сравнению с длинами волн света все-таки исчезающе малы, но в телах, где скорость света, а вместе с тем и длины волн меньше, отношение длин волн к расстояниям эфирных частиц становится уже конечным, так что, по крайней мере, для поперечных волн его следует принимать в расчет. Введя на этом основании в свои формулы члены, соответствующие указанному отношению между длиной волн и расстоянием эфирных частиц, Коши получил для скорости распространения света ряд, зависящий от длины волн и дающий для разноцветных лучей различные величины преломления. Формулу эту

$$v^2 = a + \frac{bn^2}{\lambda^2} + \frac{cn^4}{\lambda^4} + \frac{dn^6}{\lambda^6} + \dots,$$

¹ *Verdet*, Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes, II, стр. 11, Braunschweig 1884.

² Extrait d'un mém. de la propagation du mouvement dans les fluides, „Annales de chimie et de physique", XXII стр. 250, 1823.

³ Réponse à une lettre de M. Poisson, „Annales de chimie et de physique", XXIII. стр. 119, 1823.

⁴ Главная работа „Mém. sur la dispersion de la lumière" была увенчана Парижским королевским обществом наук премией и им же издана; она была помещена в „Nouveaux exercices mathématiques" за 1835—1836 гг. Более краткое и упрощенное изложение теории Коши было дано Radicke в „Dove's Repertorium der Physik", III. Ср. также *Verdet*, Wellentheorie des Lichtes, II, стр. 1, Braunschweig 1884. Еще до Коши Чаллис [(Challis) Phil. Mag. (2) 1830 и Phil. Mag. (3) II, 1832] попытался объяснить дисперсию света на основе волновой теории и для этой цели сделал допущение, что атомы эфира очень малы по сравнению с их взаимными расстояниями.

в которой v обозначает скорость света в данной среде, n — коэффициент преломления последней по отношению к пустоте, λ — длину волны и $a, b, c, \dots$ — коэффициенты, зависящие от свойств среды, Коши подтвердил опытами Фраунгофера. Однако еще до появления главной работы Коши на эту тему Баден-Поуэль эмпирически вывел формулу для показателей преломления, которая очень хорошо согласуется с приведенной выше формулой Коши ¹. Био ² выступил с возражением против допущения Коши о конечном отношении между расстояниями молекул и длиной волн в телах, указав, что это отношение не может быть значительно больше в эфире, заполняющем промежутки внутри материн, чем в свободном эфире; ведь если в свободном пространстве длина волны несколько больше, то и расстояние эфирных частиц тоже несколько больше, чем в материи; поэтому он считал, что распределение эфира в телах иное, чем в свободном пространстве, что под влиянием молекул тела плотность эфира внутри материи должна изменяться, и из этой гипотезы вывел формулу, сходную с формулой Коши. Впоследствии Буссинек ³, в противоположность Био, снова принимает эфир повсюду одинаково плотным и упругим, но объясняет замедление различных световых волн в прозрачных средах влиянием колеблющегося эфира на частицы тел и обратным влиянием этих последних; Био этими влияниями пренебрег, считая их незначительными. Позднее Коши в многочисленных работах развил дальше свою теорию света и частично ее также видоизменил. Как бы то ни было, но уже тогдашними работами Коши было доказано, что волновая теория в состоянии объяснить дисперсию света, и этим из данной теории был устранен последний темный пункт. Оставалось только сомнение, хотя по своим исследованиям и не существенное, *следует ли считать колебания эфира в поляризованном свете происходящими в плоскости поляризации, или же перпендикулярно к ней*. Френель держался последнего мнения, Коши, который сначала держался противоположного взгляда, позднее тоже примкнул к нему. Нейман при изучении двойного преломления исходит, наоборот, из противоположного мнения ⁴. Большинство оптиков после этого присоединились к Френелю и Коши, но и мнение Неймана находит своих приверженцев и защитников.

Со времени Френеля в основу теоретической оптики были положены определенные воззрения на строение эфира и весомой материи, которые после работ Коши стали главной опорой атомистики. Тем не менее, эти гипотезы носили характер скорее ценных наметок, чем окончательных решений. Но в сущности и теоретическая оптика ско-

¹ Philosophical Transactions, 1835, стр. 249.

² Essai sur la théorie mathém. de la lumière, Paris 1836; переведено на немецкий язык Klinkerfuss, Leipzig 1867.

³ Théorie nouvelle des ondes lumineuses, „Liouville's Journal", XIII, 1868.

⁴ Neumann, Theorie der doppelten strahlenbrechung, „Pogg. Ann." XXV, стр. 418. 1832. Franz Ernst Neumann родился 11 сентября 1708 г. в Укермарке, получил право преподавателя в университете в Кенигсберге в 1826 г., стал профессором физики и минералогии в 1828 г. Его лекции по математической физике, отличающиеся при математической сжатости и точности ясностью изложения и богатством общих идей, издаются теперь его учениками по запискам.

288 ФРАУНГОФЕРОВЫ ЛИНИИ. ЛИНЕЙНЫЕ СПЕКТРЫ

нее порождала потребность в молекулярной теории, чем удовлетворяла ее. Не имея возможности войти здесь в более подробное рассмотрение всех относящихся сюда работ, мы остановимся на некоторых исследованиях, которые до этого времени стояли в стороне от общего русла развития оптики. Открытие Фраунгофером *темных линий в солнечном спектре* и светлых в ламповом свете вызвало ряд новых наблюдений. Гершель ¹ описал в 1822, 1827 и 1829 гг., ² пламя различных горящих тел. В последней его работе сообщается следующее: «Пламя газообразного циана, пропущенное через призму, дает спектр, разделенный особенным образом большим количеством темных и широких линий. Пламя азотнокислого стронция дает две блестящие полосы в красном; спектр его имеет резкие границы, но всего интереснее в нем блестящая ясная голубая линия, совершенно отличная от всех прочих. Калий, горящий в газообразном йоде, тоже дает спектр своеобразной формы». Несколько лет спустя Тальбот еще более определенно описал спектры искусственных пламен ³: «стронциево и литиево пламя простым глазом при ламповом свете нельзя отличить друг от друга; но, будучи рассматриваемо через призму, первое дает, кроме желто-красного и резкого светлого-голубого луча, еще множество красных лучей, разделенных друг от друга темными промежутками. В пламени же лития красная часть спектра не разделяется».

«Поэтому я, не колеблясь, утверждаю, что оптический анализ дает возможность различить малейшие количества этих веществ с такою же точностью, как любой из известных способов». Однако эти мысли еще не столь определенные и, главное, не столь общи, как это может показаться. В статье «Zur Geschichte der Spectralanalyse» («К истории спектрального анализа») ⁴ Кирхгоф приходит к заключению, что ни Гершель, ни Тальбот не доказали в своих работах строгой зависимости тех или других линий от присутствия в пламени соответствующего элемента, и с этим нельзя не согласиться, если принять во внимание, что Тальбот приписывает светлую линию в желтой части спектра как сере, так и натриевым солям. То же следует сказать об опытах Уитстона ⁵, который, вызывая электрические искры между различными металлами, нашел, что спектр искры характеризует металл. Больше внимания возбудило открытие Брюстера, что фраунгоферовы линии можно воспроизвести в искусственном свете, — открытие, которое он сообщил в Оксфорде на собрании английских натуралистов в июне 1832 г. Уильям Галлоус Миллер повторил эти опыты и

¹ John Frederick William Herschel, сын Фридриха Вильгельма Гершеля, родился 7 марта 1798 г. около Виндзора и умер 12 мая 1871 г. в Колингвуде. Большую часть жизни провел частным лицом в Лондоне, занимаясь астрономическими, физическими, метеорологическими и другими научными работами.

² Edinb. Phil. Trans. 1822. Encyclop. Metrop. Articul Light 1827; „Bull. des sciences", 1829; „Pogg. Ann.", XVI, стр. 186. 1829.

³ Phil. Mag. (3) IV, 1834; „Pogg. Ann.". XXXI, стр. 592, 1834 и статья Тальбота в „Brewster's Journal of Science". V. 1826 посвящены спектральным явлениям. William Henry Fox Talbot родился в 1800 г., изобретатель фотографии на бумаге, богатое частное лицо.

⁴ Kirchhoff, Gesämmt. Abhandlungen, Leipzig 1882, стр. 625—641.

⁵ Report of the British Association, 1835; „Pogg. Ann.", XXXVI, стр. 148, 1835.

ВЫПАД БРЮСТЕРА ПРОТИВ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ 289

описал их даже раньше Брюстера ¹. Последний наблюдал в спектре света, пропущенного через газообразную азотную кислоту, более 2000 темных линий и приписал их избирательному поглощению света газом. Фраунгоферовы линии, которых он в солнечном спектре насчитывал тоже более 2000, он истолковал как линии, происходящие от поглощения света нашей атмосферой или, может быть, и атмосферой Солнца. Зависимость фраунгоферовых линий от состояния нашей атмосферы Брюстер действительно доказал; но установить подобную зависимость от состояния солнечной атмосферы во время солнечного затмения 15 мая 1836 г. Форбсу не удалось ². Вреде ³ объяснил происхождение темных линий спектра совершенно иначе, чем Брюстер. «Если тела, — говорит он, — состоят из атомов, которые находятся на определенных расстояниях друг от друга, то от отдельных атомов должно происходить частичное отражение; вследствие этого может образоваться целый ряд систем световых волн, из которых каждая имеет меньшую интенсивность и каждая несколько замедляется. *Интерференция таких волн и может вызвать эти темные линии*». Брюстер воспользовался своими темными линиями, как оружием против волновой теории света. Подчеркнув то обстоятельство, что эта теория еще не объяснила дисперсии света, он, далее, говорит: «Когда мы пропускаем свет через очень тонкий слой этого (т. е. азотной кислоты) газа, то из падающего светового пучка газ не пропускает, по крайней мере, 2000 различных порций, а другие 2000 порций он пропускает беспрепятственно; и, что странно, — то же самое тело в жидком состоянии пропускает сквозь себя и те 2000 порций, которые оно задерживает в газообразном состоянии; таким образом, в жидкости эфир колеблется легко для всех лучей, а в газе, где, казалось бы, эфир должен был бы быть в гораздо более свободном состоянии, он не способен пропустить колебания 2000 порций» ⁴. Затем следует приведенное уже раньше патетическое восклицание, что таким образом он, Брюстер, был прав, не желая преклонить колена перед новым алтарем (т. е. перед волновой теорией света) ⁵. Насколько неудачен был этот выпад Брюстера против волновой теории, настолько же мало плодотворной оказалась данная им характеристика фраунгоферовых линий, как линий поглощения. Шаткость всей мысли затемнила цель развития, и спектральные исследования вместо того, чтобы именно теперь начаться, на долгое время заглохли. С другими целями, не с качественной, а с количественной стороны исследовал свет небесных тел Уолластон ⁶. Для этого он применил тот же фотометрический метод, который граф Румфорд описал в 1813 г. в «Gilbert Annalen» (XLV, стр. 341, 1813 и XLVI, стр. 230, 1814).

¹ Phil. Mag. (3) II, 1333; „Pogg. Ann“, XXVIII, стр. 386 и XXXII, стр. 128, 1833 и 1834.

² Phil. Mag. (3), IX, 1836.

³ Kongl. Vet. Acad. Handl. 1834; „Pogg. Ann.“, XXXIII, стр. 353, 1834.

⁴ „Pogg. Ann.“, XXVIII, стр. 385, 1833; no Phil. Mag. (3), II, стр. 360.

⁵ Там же, стр. 381.

⁶ Philosophical Transactions, 1829; „Pogg. Ann.“, XVI, стр. 329, 1829.

290 ФОТОМЕТРИЯ. ТЕОРИЯ ГЛАЗА

Солнечный свет, войдя через круглое отверстие в комнату, давал тень от палки. После этого зажигалась восковая свеча, которая устанавливалась таким образом, чтобы тень палки от нее сравнилась по своей густоте с солнечной тенью. Так же ставился опыт и с лунным светом. В среднем итоге из многих опытов получилось, что солнечный свет равен свету 5563 восковых свечей на расстоянии 1 фута. Свет полной Луны Уолластон нашел равным только $\frac{1}{144}$ восковой свечи на расстоянии одного фута; следовательно, солнечный свет оказался в 801 072 раза сильнее лунного. Кроме того, Уолластон вычислил, что Луна отражает приблизительно $\frac{1}{8}$ падающего на нее света. Света неподвижных звезд этим способом нельзя было измерить; поэтому Уолластон сравнивал между собою отражения звезды и восковой свечи от шарика ртутного термометра, устанавливая термометр таким образом, чтобы оба отраженных света имели равную интенсивность. Хотя? он сам признает неточность этого приема, но ввиду важности подобных измерений он сообщает, что свет Сириуса относится к свету Солнца, как 1 к 20 000 миллионов, если считать, что при отражении от шарика термометра теряется половина солнечных лучей. Фотометрическими измерениями занимался в это время Ритчи ¹ и др. В 1825 г. он попытался переделать дифференциальный термометр Лесли в фотометр, но в 1829 г. он построил собственный прибор, носящий в учебниках физики его имя. Однако и последний, не меньше чем фотометр Румфорда, давал погрешности вследствие субъективной оценки освещения. Для большей надежности Друммонд в своих измерениях применял оба фотометра, т. е. системы Ритчи и Румфорда. Силу изобретенного им известкового света (описанного в «Philosophical Transactions», 1826) он нашел равной 264,1 единицы, принимая за единицу свет аргантовой лампы.

Теорией глаза занимались очень усердно как оптики-физики, так и оптики-физиологи. Гаусс ² упростил построение хода преломленных лучей в системе сферических поверхностей, относя расстояния светящихся точек и фокусов не к вершинам преломляющих поверхностей, а к двум другим точкам, которые он назвал главными. *Главными являются те точки, в которых предмет и его изображение равны между собою по величине.* При употреблении этих точек формулы, выражающие зависимость между светящимися точками и их изображениями, приобретают и для *системы сферических поверхностей* тот же простой вид, как для случая одной преломляющей поверхности.

Плато ³ занимался очень подробно иррадиацией света в глазу. Он: доказал, что это, подвергавшееся по временам сомнению несовершенство глаза действительно существует, установил на основании опытов его законы и пришел к следующему выводу: «Самая вероятная причина иррадиации это — та, которая в настоящее время является об-

¹ William Ritchie, умер 15 сентября 1837 г. близ Эдинбурга, сначала был духовным лицом, потом физиком и профессором в Royal institution.

² Dioptrische Untersuchungen, Abhandl. der Königl. Gesellschaft. d. Wissenschaften zu Göttingen, I, 1838—1841.

³ Mém. de l'acad. Brux. XI, 1839; „Pogg. Ann." Ergänzungsband I, стр. 79, 193, 405, 1839.

СТЕРЕОСКОПИЯ. ФОТОГРАФИЯ 291

щепринятой, а именно, что световое раздражение на сетчатке *заходит* несколько за *контур изображения* ¹. Однако это мнение не осталось без возражения. Араго ² приписал это явление неполному *ахроматизму* глаз, а Вреде ³ считал иррадиацию дифракционным явлением.

Зеебек ⁴ исследовал много лиц с точки зрения «недостатка цветового ощущения», для чего заставлял отличать друг от друга 60 бумажных полос, окрашенных в различные цвета. 13 человек оказались неспособными к такому различению; наиболее надежным оказалось у всех лиц ощущение желтого цвета; красный и синий тона смешивались чаще всего.

Уитстон впервые доказал ⁵, что при смотре обоими глазами различие возникающих в них изображений обуславливает телесность или пространственность изображения, а также способствует оценке расстояния до рассматриваемого предмета. Прибором, с помощью которого он это доказал, был хорошо известный теперь *зеркальный стереоскоп*. *Стереоскоп с чечевицами* и фотографическую камеру для съемки стереоскопических изображений описал 10 годами позже (1849 г.) Брюстер ⁶. Но Мозер уже в 1841 г. предложил и указал способ получения изображений для уитстоновского стереоскопа при помощи волшебного фонаря, вместо рисования от руки ⁷.

Так как право опубликования *техники фотографирования* было приобретено за ренту у изобретателей французским правительством, эта техника была впервые опубликована Араго лишь в 1839 г. ⁸. В историческом введении Араго сообщает следующие даты, касающиеся этого изобретения: «Первым, сделавшим попытку получения фотографических изображений, был *Шарль*, он, однако, ограничивался получением силуэтов прямо от солнца на бумаге, покрытой хлористым серебром. Более совершенные опыты произвели Веджвуд (1802) и Дэви; но их попытки закрепить изображения, получаемые с помощью волшебного фонаря, а также предохранить от дальнейшего действия света копии изображений и т. п. совершенно не удалось. Ньепс старший начал, по-видимому, свои опыты уже в 1814 г.; в 1826 г. он

¹ „Pogg. Ann." Ergänzungsband I, стр. 104.

² Comptes rendus 1839.

³ Bericht über die Fortschr. der Physik und Chemie, XX, стр. 24—25, 1840. Fabian Jacob Wrede родился 9 октября 1802 г. в Линкепинге,— начальник шведского артиллерийского штаба, с 1835 г. член Стокгольмской академии наук.

⁴ „Pogg. Ann.", XLII, стр. 177, 1837.

⁵ Philosophical Transactions, 1838; „Pogg. Ann.", Ergänzungsband I, 1839. По словам Уитстона („Pogg. Ann.", Ergänzungsband I, стр. 5), никто до него не указывал на различие обоих изображений предмета, рассматриваемую обоими глазами. Только Леонардо да-Винчи утверждал в своем „Trattato della Pittura", что два глаза, помещенные в точках *A* и *B* позади тела *C*, видят больше, чем один глаз, что, следовательно, при рассматривании двумя глазами предмет *C* виден так, как если бы он был прозрачным, и для глаз остается скрытым лишь то, что составляет общую тень для точек *A* и *B*.

⁶ Report of the British Ass., XIX, 1849.

⁷ Dove, Repertorium der Physik, V, стр. 385, 1841.

⁸ Comptes rendus 1839; „Pogg., Ann.", XLVIII, стр. 193, 1839. Поггендорф оправдывает появление в его журнале статьи на эту тему следующими любопытными словами: «При общем, и можно, пожалуй, сказать, преувеличенном интересе со стороны публики к сообщению об открытии г. Дагерра»...

292 ХИМИЧЕСКОЕ И МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА

случайно узнал, что Дагерр занимается такими же опытами; поэтому в 1829 г. они заключили товарищество для усовершенствования этого изобретения. Ньепс умер в 1833 г., а в 1835 г. Дагерр окончательно разработал способ, названный по его имени *дагерротипией*. Изготовление фотографических изображений на бумаге описал впервые Тальбот в 1839 г.¹; он, однако, указывает, что изобрел он этот способ уже в 1834 г. Негативы на стекле стал готовить Ньепс де-С.-Виктор в 1848 г. После этого химикам пришлось много поработать над объяснением процессов при фотографировании; физики же старались выяснить, какие лучи сильнее всего действуют в этом отношении, и найти те прозрачные тела, которые всего меньше поглощают эти лучи. В первом направлении особенно много работал Гершель²; но Берар еще задолго до изобретения фотографии доказал³, что химические лучи обладают наибольшей интенсивностью в фиолетовом конце спектра и даже, как утверждала Уолластон и Риттер, несколько дальше за ним. Отсюда Био⁴ сделал вывод, что существуют лучи самой различной преломляемости; из них наименее преломляемые дают ощущение теплоты, наиболее преломляемые производят химическое действие, а лучи средней преломляемости дают ощущение света. В 1839 г. Био⁵ попробовал определить *поглощаемость химических лучей различными веществами*. Исследуя пластинки стекла, каменной соли, горного хрусталя и пр., он установил, что способность поглощения химических лучей у этих веществ совершенно независима от теплового и светового поглощения; кроме того, он нашел, что наиболее сильные по своим химическим действиям лучи вызывают наиболее сильную фосфоресценцию. Беккерель, работавший частью с Био, частью со своим сыном, открыл, что *горный хрусталь особенно прозрачен для химических лучей* и что даже *темного цвета горный хрусталь пропускает химические лучи сильнее, чем пластинка прозрачного стекла*.

Еще раньше этих исследований высказывалось мнение, что *свет способен производить прямое магнитное действие*. Мариккини⁶, мистрис Осмервилль⁷ и др. утверждали, что *под влиянием световых лучей, особенно фиолетовых, стальная игла намагничивается*. В 1829 г. Зантедески⁸ сообщил, что он вполне определенно наблюдал подобное намагничивающее действие фиолетовых лучей. Однако Мозер, Рис⁹,

¹ Some account of the art of photogenic drawing, London 1839. В „Pogg. Ann.", XLVIII, стр. 220, 1839 дано описание фотографической бумаги.

² On the chemical action of the rays of the solar spectrum on preparation of silver, Philosophical Transactions, 1840. On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colours, Philosophical Transactions, 1842.

³ Mém. sur les propriétés des différences espèces de rayons, Mém. de l'Arcueil, III, 1817.

⁴ Lehrbuch d. Experimentalphysik, IV, стр. 247—248, Leipzig 1825.

⁵ Comptes rendus 1839.

⁶ Sopra la forza magnetizzante del lembo estremo del raggio violetto, Roma 1812: „Gilb. Ann.", XLIII, стр. 212, 1813.

⁷ On the magnetizing power of the more refrangible solar rays, Philosophical Transactions, 1826; „Pogg. Ann.", VI, стр. 493, 1826.

⁸ Bibl. univer., XLI, стр. 64; „Pogg. Ann.", XVI, стр. 187, 1829.

⁹ „Pogg. Ann.", XVI, стр. 563, 1829.

а также Зеебек при самом тщательном повторении этих опытов не могли открыть какого-либо действия света на совершенно немагнитное железо. Равным образом не подтвердились и более поздние наблюдения Маттеуччи, будто золотые листочки электрометра на солнце отталкиваются друг от друга и что стеклянные пластинки на солнечном свете за короткое время наэлектризовываются. Надо думать, что источником ошибок при всех этих наблюдениях послужили воздушные токи, вызванные тепловыми лучами.

В заключение следует еще упомянуть об изобретении некоторых менее важных *оптических приборов*. *Калейдоскоп*, на который Брюстер в 1817 г. получил патент и который после этого некоторое время перебивался в руках у всех, в этот период уже утратил интерес. Теперь внимание было привлечено *стробоскопом* Штамппера, описанным им в 1834 г. в «Jahresbenchte des Wiener polytechnischen Instituts» (XVIII). Плато заявил притязание на первенство в этом изобретении, так как идею стробоскопического диска изложил еще в 1833 г. (июньский выпуск «*Corr. Math. et phys. de l'Observatoire de Bruxelles*»). Однако Берцелиус не поддержал этого притязания (Berichte über die Fortschritte der Physik und Chemie, XIV, стр. 22), так как подобные приборы он видел уже в августе 1833 г. в Стокгольме. Колесо, которое подобно стробоскопу, но без зеркала, дает возможность видеть те же явления одновременно многим лицам, описал В. Г. Горнер под именем *дэдалеум* в 1834 г. в «*Philosophical Magazin*» (т. IV). Бузольт¹ устроил в том же году тяжелый волчок для наложения разноцветных кружков и для опытов по смешению цветов. Волчок был металлический и весил 5 фунтов; будучи запущен на фарфоровой пластинке, он мог вертеться безостановочно в течение 45 минут.

¹ „Pogg. Ann.“, XXXII, стр. 656, 1834.

294 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авогадро 211
Аккерман 93
д'Аламбер 97, 206, 243
Альбрехт 196, 204, 283, 285
Альдини 92, 189
Альтгауз 198
Амонтон 105
Ампер 24, 170, 180, 193—200, 211, 220, 255, 256, 258, 261, 283, 284
Ангстрем 208
Антинори 201, 257
Араго 147, 153—156, 170, 175, 178—180, 182, 192—193, 199, 211, 233, 235, 254, 286.
291
Аристотель 21, 170, 240
Армстронг 275
Атвуд 102
Аугуст 224
Ахард 95, 116
Аш Эд. 93
Баадер 239
Баббаджес 199
Бабине Ж. 187, 193
Баден-Поуэлль 221, 287
Банкалари 278
Банкс 117—118
Баумгартнер 224
Беккариа 94
Беккерель 201, 262, 266, 268, 276, 277, 292
Беллани 238
Бенденберг 102, 112, 134, 136
Берар 212—213, 221, 292
Беренс 266
Бернулли Д. 128—129, 133
Бернулли Я. И, 133
Бертолле 70, 74, 100, 106, 112
Берцелиус 26, 114, 123—124, 169—170, 203, 210, 218, 223, 237—238, 259, 261, 265—
267, 293
Бессель 100
Бетанкур 108
Беттгер 276, 283
Биггенбах, А. 75
Бикер 109
Био 33, 65, 80, 104, 109—110, 112, 114, 116—118, 127, 135, 150, 153—156, 173, 175—178,
181, 182, 185, 193, 194, 197, 198, 207, 213, 247, 287, 292
Блек 83
Бойль 32, 70
Боненбергер 224
Бонн 100, 105
Борда 100
Боскович 34
Босс 44

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 295

Ботто 259
Брама 103
Брандес 104, 174
Брегет 214
Брио 286
Бриссон 94, 100
Бруггем 147
Бругманс 276, 277
Бруннер 224
Бруньятели 90, 91
Брюстер 148, 155, 156, 181, 183, 259,
288, 289, 291, 293
Буажиро 192
Бунзен 238
Бунк 224
Бузольт 293
Буссе Ф. Г. фон- 139
Буссинек 287
Бюльфингер 104
Бюффон 70, 115
Бэтц 269
Бэкон 28
Бэли 137
Вагнер 260
Валли 89, 92
Вандермонд 100, 106
Вебер Г. 247
Вебер Э. 208
Вебер В. 131, 171, 249, 254, 262, 278, 284
Вебер, братья В. и Э. 128, 172, 240—245, 247
Евелл-Литтрау 180
Веджвуд 291
Вельтер 214
Вентан 138
Верде 147, 179—181. 286
Вертгейм 234
Видеман 188, 208, 209, 259, 263, 277
Вильгельми 210
Вильке 94
Вилькинсон 126
Вокелен 122, 126
Вольта 89—93, 116—118, 121, 200, 265
Вреде 289, 291
Вюнш 137
Гайкрафт 212
Галилей 37, 39
Гальвани 33, 84—93, 116, 117
Гальен 82
Гамель 190, 191, 193, 285
Гамильтон 104, 171, 228—230
Гаррис 278

296 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Гассенди 34
Гауземаи 209
Гаусс 99, 102, 170, 171, 227, 228, 230, 235, 236, 278, 279, 284, 290
Гегель 61, 168, 164, 165
Гей-Люссак 31, 106—111, 113, 147, 212. 214
Гелер 218
Гелльштром 254
Гельмгольц 146, 161, 218, 229, 257, 268, 269
Генли 95
Генри Д. 259
Генри У. Ш. 238
Генри У. 74
Гербарт 166, 168, 169
Гермбштедт 138
Герстен 222
Герстнер 243
Гершельд 155, 187
Гершель Ф. 75, 76, 199, 288, 292
Гёте 111, 156—163
Гиггинс-Брайан 138
Гильберт 103, 104. 134, 193, 253
Го 100
Говард 111
Головин 131
Гольдман 214
Гопкинс 249, 250
Гоппе 121. 192, 231, 257, 285
Горнер 293
Готро 120
Гоуксби 105
с'Гравезанд 142, 243
Грегэм 237, 238
Грейнер 213
Грен 93, 95
Гримальди 102
Грин 171, 229, 230
Грове 268, 269
Гротгус 123
Губер 166
Гульемини 102
Гумбольдт 93, 106, 278
Гюйгенс 36, 146, 152, 172, 176, 181
Гютон де-Морво 70, 106, 224
Даггер 292
Далансе 114
Дальтон 31, 68, 106—110, 112—114, 116, 213
Даниэль 223—224, 268—269, 283
Дарвин 213
Деберейнер 103

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 297

Деген 81, 82, 236
Дегофф 103
Дезорм 214
Декарт 21, 24, 170, 172, 188
Деламбер 100
Деларош 212, 213
Делюк 69, 79, 80, 95, 105, 113, 114, 116, 138
Дейман 94
Демаре 116
Дерган 114
Депре 109
Десень 300
Дженкин 257
Джоуль 218
Дове 112, 257
Друмонд 290
Дювернуа 106
Дюлонг 113, 209—212, 214, 215
Дюртинг 99
Дютроше 237
Дюфе 222
Дэви 23, 72, 73, 76, 119 126, 202, 254, 291
Жамар 139
Жермен 133
Жюрен 104
Замбони 266
Зантедески 190, 278, 292
Зеебек Л. 252, 253, 291, 293
Зеебек Т. 156, 161, 199—201, 219, 267, 277
Зеебер 170
Земмеринг 193, 284
Зульцер 90, 139
Иелин 200
Иергенсен 214
Изарн 190
Ингенгоус 115
Кавалло 83, 93
Каде 94
Кант 23, 26, 27, 30. 41, 43—62, 54—58. 165, 168, 169
Каньяр-Латур 234, 251
Карлейль 119
Карминати 92
Карно Ипполит 218
Карно Л. 231
Карно С. 171, 216—218
Карре 104
Карстен 95
Квинтус-Ипилиус 201
Кен 250
Кеплер 228
Керби 134

298 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Кестнер 135
Киминелло 80
Кирхгоф 133, 209, 229, 236, 288
Клапейрон 217
Кларк 261
Клаузиус 231
Клебш 99
Клейн 99
Клеман 214, 239
Клеро 104
К. М. 284
Кобелль 283
Колладон 239, 250, 251
Коллинс 173
Кольрауш Р. 262
Кондорсе 100
Конфлиаши 189
Копп 113, 124, 211
Кориолис 171. 232
Коши 233, 234, 286, 287
Кранденштейн 95
Крауфорд 69
Креве 93
Криз 68
Крюкиус 105
Крюикшенк 119, 122, 125, 126
Кулон 100, 101
Купфер 173
Курте 126
Кавендиш Г. 82, 94, 101
Кавендиш Ш. 80
Лавуазье 31, 69, 114, 121, 207, 211
Ла-Гир 105, 114
Лагранж 32, 33, 96—100, 128, 133, 135, 170, 206, 224, 225, 228, 230, 247
Ламберт 105, 128, 133, 135
Ламон 278
Лана де- 82
Лаплас 31—33, 62, 101 102, 104—105, 114, 133. 135, 136, 152, 170, 182, 206, 207, 211, 214, 226, 228, 230, 232, 235. 251
Лассвиц 40
Лейбниц 44, 170
Леверрье 187
Лежандр 206
Ле-Конт 135, 136
Ленин 56
Ленц 201, 238, 257, 258
Леонардо да-Винчи 291
Леруа Ш. 222, 223
Лесаж 30, 34, 37, 39—41, 48, 56, 284
Лесли 76—79, 210, 290
Линари 201

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 299

Линк 236
Лихтенберг 95, 129, 273
Ллойд 188
Лоренц 209
Людике 79
Майер И. Т. 74, 105, 116, 135, 192, 210, 218
Максвелл 197, 231, 279, 282, 283
Магнус 110, 237
Малюс 148—151, 158, 247
Маклорен 234
Марат 70
Марианини 269
Марикини 292
Марсе 212, 254
Марум 94, 126, 188
Маскелин 101, 171
Массон 137, 257
Маттеучи 293
Мебиус 171, 227
Мейер И. Ф. 95
Мейкле 136
Меллони 172, 219—222
Мельде 129
Меррик 134
Мешен 100
Миллер 288
Милли де- 94
Миндинг 227
Мичелль 101
Можон 189
Мозер Л. 291—292
Молле 213
Монгольфье Ж. Е. 83
Монгольфье Ж. М. 83, 103
Монж 100, 106, 231
Монро 93
Мопертюи 228, 229
Морзе 285
Мун 136
Мунке 41, 57, 109, 112, 131, 138, 190, 192, 195, 196, 198, 217, 258
Муррей 112, 116
Мусин-Пушкин 138
Мушенбрек 23, 104, 105, 114, 137, 222
Мюллер Иоганн 259, 266, 269, 283, 285
Навье 227, 232
Наполеон I 30, 62, 125
Науман 287
Негро, Сальваторе даль- 259, 260
Нейман 211, 287
Никольсон 116, 117, 119, 126, 133
Нобили 195, 198, 218, 221, 257

300 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Нолле 137, 237, 250

Ньюго 105

Ньепс (старший) А. де-С. Виктор 291, 292

Ньепс И. 292

Ньютон 21, 23, 24, 26, 30, 32—34, 39, 43, 45, 58, 96, 102, 134, 135, 143, 146, 157, 158, 160, 161, 170, 173, 174, 178, 183, 214, 240, 243, 247, 285

Обюиссон 239

Оливье 103

Ольберс 103

Ом 171, 202—205

Парро 125, 173, 174, 236—238, 265

Пельтье 201, 267

Пикар 114

Пиксий 260, 284

Пикте 75, 213

Плато 290, 293

Платон 170

Плейлер 102

Плефер 77

Плюкер 279

Поггендорф 78, 192, 202, 204, 233, 267, 269

Полени 105

Поль 199

Понселе 171, 231, 232

Понтекулан 234

Поттер 136

Прево 34, 41, 75

Прехтль 189, 199

Пристли 106

Провостэ 210

Прони 100, 109

Пти 113, 209—212

Пуансо 171, 225—227

Пуассон 131, 133, 136, 170, 175, 177, 182, 227, 228, 230, 233—237, 245, 247, 286

Пулье 204, 205, 276

Пфафф 93, 95, 126, 259, 262, 265, 267

Пюиссан 100

Пэдж 285

Радике 286

Рамо 139

Реаль 103

Ребук 70

Рейль 93

Реньо 110, 137, 211, 213

Рив А. де-ла- 212, 266, 267, 283

Рив Ш. де-ла 192

Риггенбах 115

Рикатти 128, 130

Рисс 273, 292

Риттер 61, 76, 77, 119—121, 125, 126, 146, 189, 265, 269, 292

Рихман 115

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 301

Ритчи 78, 136, 257, 261 200
Риччиоли 102
Рише 114
Робисон 77, 142
Родриг 227
Розенбергер 22, 34, 56
Романьози 189—191
Румфорд 31, 70—74, 77—78, 112, 114—116, 141, 218, 235, 289, 290
Рупп 109
Рутерфорд 23, 81
Рюльман 74, 218
Савар 193, 194, 239, 243, 244, 247—252
Сакстон 261
Сан-Мартини де- 80
Серр де- 191
Сикс 81
Сильва 284
Симон 126
Смит 142
Смитон 114
Соке 116
Сомервиль 292
Соссюр де- 78—80, 105, 111
Спенсер 283
Станкари 251
Стегелин 278
Стерджон 259, 260
Стокс 136
Стюарт 77
Талейран 100
Тальбот 288, 292
Тенар 122, 126
Тен Эйк 259
Тиндаль 28, 51, 253, 255, 257, 262, 275, 278, 282
Томсон Б. — см. Румфорд
Томсон В. —229, 282
Тралесс 112
Травельян 253, 255
Тромсдорф 138
Трусвик 94
Уайтгерст 70
Уатсон 84
Уатт 108
Уитстон 133, 205, 274, 285, 288, 291
Уолластон 77, 146, 147, 155, 183, 184, 265, 289, 292
Уре 109
Уэльс 93. 222, 223
Фабброни 93, 125, 265
Фарадей 28, 197, 238, 253—257, 260, 262—265, 267, 269—283
Фехнер 112, 183, 203, 258, 259, 267, 268
Фишер И. 40, 58

302 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Фишер Н. 116, 138, 237
Флэмстид 285
Фожа де-Сен-фон 83
Форс 208, 221, 253, 289
Фордайс 70
Фортингаль 101
Фосс 222
Фоулер 93, 117
Франкенгейм 201, 236
Франклин 115, 241, 250
Франкфуртер 184
Франц 208
Фраунгофер 183—185, 187
Френель 23, 24, 170, 173—187, 232, 240, 285—287
Фриз 58
Фузиньери 238
Фукруа де- 70, 122, 126
Фурье 171, 179, 200, 205—208, 216
Хладни 32, 127—131, 133—135, 137—140, 214, 241, 244, 245
Хуттон 101
Циглер 108
Чаллис 136, 286
Чильдрен 126
Шаден фон- 166
Шайблер 254
Шаль 227
Шарль 83—84, 107, 291
Шварц 252—253
Швейггер 189, 191—193
Шверд 187
Швильге 103
Шеврель 101
Шеллинг 59—62, 158, 164, 189, 284
Шейнсейн 268, 269
Шерер 138
Шефлер 227
Шмидт 106, 109, 113, 198
Шмук 93
Штампфер 293
Штейнгейль 284
Штерер 261
Штурм Дж. 239, 250, 251
Штурм И. Ш. 78
Эйлер 53, 128, 129, 131, 133, 135, 139, 140, 172, 246
Эйткин 223
Энгельс 56
Эпикур 35, 36
Эрдман 122
Эрксleben 139
Эрленмейер и Левинштейн 190
Эрман 111, 237

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 303

Эрстед 171, 189—194, 197, 199, 200, 235, 267

Юнг М. 139

Юнг Т. 23, 32, 73, 140, 142—147, 152, 154, 172—176, 178—180. 186, 187, 231, 249

Якоби К. 99, 234, 235, 257, 283 Якоби М. 260

304 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Акустика 31—32, 127—140, 172, 240—252
Анион 265
Анод 265
Аспиратор 224
Астатическая пара 195
Атвуда машина 102
Атомистика 30, 34—35, 38—41, 65—66, 233—234
Барабанная перепонка 252
Батареи гальванические — см. Элементы
Вода, электролиз 119—120, 122—124
Водяные волны, происхождение 240—244
Водяные волны, скорость 243—244
Водяные волны, успокоение маслом 242
Воздушный шар 83—84
Волосность 32, 103—105, 235—236
Вольтметр 264
Вольтов столб 116—120, 125—127
Вращение плоскости поляризации света 181—182
Вращение плоскости поляризации света, магнитное 275—276
Вращение тел 225—226
Гальванизм 84—96, 116—127, 255
Гальванометр 195
Гальванопластика 283
Гармоника химическая 138
Гигрометр 79—80
Гидравлический пресс 103
Гидравлический таран 103
Глаз 290—291
Дагерротипия 292
Двойное преломление света 33,
148—152, 170, 180—181
Действие на расстоянии 45—48,
56—57, 269—270, 273—274, 281
Деполяризация света 154
Диамagnetизм 276—278
Диосмос 236—237
Дисперсия света 183—186, 285—287
Диссонанс 139
Дифракция света 145—146, 175, 177—178, 185, 187
Дифракционная решетка 185—187
Диффузия газов 237—238
Диэлектрик 272
Длина световых волн 144, 177, 186
Дуга электрическая 126—127
Дэдалеум 293
Законы Дальтона и Гей-Люссака 31, 106—108
Закон Дюлонга и Пти 209—211
Закон Ома 202—205
Звуковые фигуры Хладни 32, 131—133

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 305

- Зрение биноклярное (обоими глазами) 291
- Индукция гальваническая 195, 255—258
- Индукция электрическая 270
- Инерция 63
- Инclinатор 278
- Интерференция света 32, 143—144
- Интерференция звука 249—250
- Иrradiация 290—291
- Испарение 31, 110—112
- Истечение воды 239
- Калейдоскоп 293
- Камертон 131
- Капиллярность — см. Волосность
- Катион 265
- Катод 265
- Клавицилиндр 140
- Кипение жидкостей 109
- Колебания вращательные 130—131
- Колебания первичные и вторичные 246
- Колебания поперечные 130, 244
- Колебания поперечные эфира 179—180
- Колебания продольные 130, 244
- Колебания стоячие 244
- Комбинационные тоны 254
- Конденсатор электрический 92
- Консонанс 139
- Контактная теория электричества 33, 91—92, 265
- Круговой процесс — см. Циклический процесс
- Крутильные весы 101
- Линии сил 281
- Магнетизация света 276
- Магнетизм 24, 61, 195, 197—199, 230
- Магнетизм вращательный 256
- Магнитокристаллическая сила 280
- Магнитометр 278
- Магнитоэлектрические машины 261—262
- Материя, теория 21, 26, 30—31, 43—47
- Меры длины, метрические 100
- Метеорология 31, 111, 222—224
- Метод неопределенных множителей 98
- Методы физики 26—29
- Механика аналитическая 32, 96—99, 224—235
- Молекулярные силы 235—236, 239
- Мостовые весы 103
- Мультипликатор 203
- Начало варьирующего действия 228—229
- Начало виртуальных скоростей 97, 99, 231
- Начало наименьшего действия 228—229
- Невесомые 22, 30—32, 54, 68—70, 95—96
- Неефовский молоточек 260
- Непроницаемость в материи 65

306 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Облака 111
Огииво воздушное 213
Оптика 32—33, 140—163, 172—188, 285—293
Опыт Тревельяна 253—254
Отклонение падающих тел 32, 102—103
Отражение волн 244
Отражение света полное 181
Отражение тепловых лучей 221
Охлаждение тел 209—210
Папинов котел 108
Парамагнетизм 277
Паровая машина 31
Паровое электричество 275
Пары сил 225—226
Пары, упругость 108—109
Перпетуум-мобиле 217
Плотность земли 32, 101—103
Поверхности волн в кристаллах 180—181
Поглощение газов 238
Поглощение теплоты 219—220
Поляризация света 33, 148—152; 178—181, 275—276
Поляризация эллиптическая 181
Поляризация круговая 181
Поляризация хроматическая 178—179
Поляризация электрическая 268—269
Потенциал 230—231
Поющее пламя 255
Превращение сил 24—25, 168, 201, 215—217
Преломление тепловых лучей 76
Принцип живых сил 97
Принцип площадей 97
Притяжение и отталкивание материи 22, 44—56, 64—66, см. также Тяготение
Проводимость теплоты — см. Теплопроводность
Проводимость электричества — см. Электропроводность
Психрометр 224
Пыльные фигуры 248
Работа 231—232
Радуга 146
Распространение звука в телах 248—251
Расширение тепловое, жидкостей (аномалия воды) 113—114
Расширение тепловое, газов 105—108
Расширение тепловое, твердых тел 114
Резонанс 245—247
Рефракция коническая 187—188
Роса 223
Световая волна как мера длины 187
Световое вещество 23
Световые лучи, невидимые 74—78
Световые ощущения 157—160
Светорассеяние — см. Дисперсия света

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 307

- Сгущение газов на поверхности тел 238
- Сжимаемость жидкостей 238—239
- Силы физические 21—29, 263—264, 267, 269—272, 280—282
- Сила электрического тока 203—205
- Синус-буссоль 204
- Сирена 251—252
- Система мер абсолютная 171, 279
- Скорость звука 133—137
- Скорость электричества 274
- Скорости, их сложения 39, 43, 46, 62—63
- Созвучие — см. Консонанс
- Соленоид 194—195
- Сохранение силы 27, 71—72, 169—170, 215—218, 232
- Спектральные явления и спектральный анализ 172, 183—188, 288—290
- Сродство химическое 65, 122—123
- Стереоскоп 291
- Столб Вольты 117
- Столб сухой 266
- Стробоскоп 293
- Сцепление 54
- Тангенс-буссоль 204
- Теория волновая света 23, 33, 140—149, 247
- Теория волновая теплоты 73—75, 218—222
- Теория истечения света 23, 143—160, 175—176, 247
- Тепловая единица 207
- Теплород (тепловое вещество) 22, 30—31, 54, 118
- Теплоемкость газов 211—213
- Теплоемкость твердых и жидких тел 210—211
- Теплота лучистая 31, 74—78, 218—222
- Теплота плавления 74
- Теплопроводность 115—116, 206—209
- Теплопрозрачность 219—220
- Термодинамические машины 215—218
- Термомагнетизм 199—200
- Термометр дифференциальный 77—78
- Термометры максимум и минимум 80—81
- Термометры металлические 214
- Термомультипликатор 218—219
- Термоскоп 78
- Термостолб 200
- Термоэлектричество 199—201
- Тяготение 27, 35—40, 44—45, 280—281
- Узловые линии 248
- Узлы колебаний в трубах 249
- Упругость газов и паров 31, 108—110
- Упругость тел, теория 232—234
- Учение о волнообразном движении 128, 172, 240—250
- Фигуры равновесия вращающихся жидкостей 234—235
- Фотография 291—292
- Фотометрия 289—290

308 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Френеля зеркало 175

Функция силовая 229

Химическое действие света 292

Химическое действие электричества 93—94, 119—125, 262—267, 283—284

Цвета тонких пластинок 144—146

Цветная слепота 291

Цветочные ощущения 158—160

Циклический процесс 215—217

Щелочи, разложение 121—122

Экстракт 257

Электрические разряды 126, 272—274

Электричество 26, 84—96, 116—127, 188—205, 231, 254—285

Электричество от трения 262, 270—273

Электродвижущие машины 259—260

Электродинамика, основной закон 196—197

Электролиз 122—123, 263—265

Электролиты 265

Электромагнетизм 171, 188—199, 256

Электромагниты, их изобретение 258—260

Электропроводность 202, 205, 263

Электротехника 283—285

Элементы гальванические 117, 268—269

Эндосмос 236—237

Эолова арфа 138—139

Эфир 23—24, 53, 182—183

Эуфон 140

Редакция *С. Г. Суворова*.

Оформление *Н. Я. Костиной*, Корректор *М. И. Саталкин*.

Сдано в набор 13/IX 1934 г. Бум. л. 9¹/₂

Подписано к печати 13/IX. 1935 г

Формат 62×94¹/₁₆

Главн. ред. общ. дисц. № 127.

Печ. зн. в 1 бум. л. 102.816.

Уполн. Главлита № в—25582.

Печ. 19 л.— Тираж 10.000. Авт. л. 23

Заказ № 3234.

2-я типогр. ОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленинград, пр. Красных
Командиров, 29.

DIE GESCHICHTE DER PHYSIK

IN GRUNDZÜGEN

von Dr. FERD. ROSENBERGER

DRITTER TEIL

GESCHICHTE DER PHYSIK IN DEN LETZTEN HUNDERT JAHREN

ZWEITE ABTEILUNG

BRAUNSCHWEIG, FR. VIEWEG UND SOHN

1890

Ф. РОЗЕНБЕРГЕР

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

**ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО ПОД РЕД. И. СЕЧЕНОВА
ВНОВЬ ПРОВЕРЕННЫЙ И ПЕРЕРАБОТАННЫЙ В. С.
ГОХМАМОМ**

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

**ИСТОРИЯ ФИЗИКИ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ
(XIX) СТОЛЕТИЕ**

ВЫПУСК II

ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР

**ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ И НОМОГРАФИИ**

МОСКВА—1936—ЛЕНИНГРАД

ОГЛАВЛЕНИЕ

Третий период физики в последнее столетие (приблизительно от 1840 до 1860 г.)	5
Установление закона сохранения силы. Сохранение силы. Майер, Джоуль, Гельмгольц (приблизительно от 1840 до 1850 г.).....	5
Преобразование теории теплоты (приблизительно от 1840 до 1860 г.)	61
Механика (приблизительно от 1840 до 1860 г.)	97
Оптика (приблизительно от 1840 до 1860 г.)	128
Теория электричества (приблизительно от 1840 до 1860 г.)	155
Четвертый период физики в последнем столетии (приблизительно от 1860 по 1880 г.)	184
Возникновение кинетической физики	
Философия материи (приблизительно от 1860 до 1880 г.)	190
Молекулярная механика (приблизительно от 1860 до 1880 г.)	257
Механика тепловых движений (приблизительно от 1860 до 1880 г.)	287
Спектральный анализ. Взаимодействие между световым эфиром и весовыми молекулами (приблизительно от 1859 до 1880 г.)	324
Физика звуковых ощущений. Механика звуковых движений (приблизительно от 1860 до 1880 г.)	352
Теория электричества. Электротехника (приблизительно от 1860 до 1880 г.)	379
Именной указатель	425
Предметный указатель	457

ТРЕТИЙ ПЕРИОД ФИЗИКИ В ПОСЛЕДНЕЕ СТОЛЕТИЕ

(приблизительно от 1840 до 1860 г.)

Установление закона сохранения силы

В жизни наук, в тесной связи с упадком и возникновением научных теорий, происходит постоянное чередование периодов критического сомнения и оптимистической веры в силу человеческого ума. Обветшание и отмирание воззрений, превратившихся в догмы, естественно порождает недоверие и отрицание, которые, однако, при каждой новой победе науки уступают место убеждению в реальном значении научного мышления. Однако ни одно из этих противоположных течений не удерживает за собой исключительного господства, — во всяком случае, на долгое время. Большею частью они существуют рядом в зависимости от способностей, направления и рода занятий научных работников; чаша весов склоняется иногда то в одну, то в другую сторону лишь под влиянием текущего хода развития науки; в переходные же эпохи нередко наблюдается полное равновесие между обоими этими течениями.

Таким же переходным характером отличается и новейшая физика, преимущественно в смысле различной оценки методических факторов и различия взглядов на объективное, реальное значение гипотетических выводов.

До начала предыдущего периода существовало, по-видимому, полное единодушие насчет того, что в основу каждой физической дисциплины должна быть положена особая *элементарная материя* и что каждая дисциплина может быть рассматриваема как учение о силах, свойственных соответствующей материи, и, следовательно, таким путем она может быть обособлена от других физических дисциплин. По этой удобопонятной и простой схеме *механика*, например, рассматривалась как учение о *весомой материи*, *оптика* — как учение о *световом веществе*; в основу учения о *теплоте* клали *теплород*; учение о *магнетизме* и *электричестве* сводили к свойствам *магнитных* и *электрических жидкостей*. Победа, одержанная в предшествующий период *волновой теорией света*, имела своим результатом не только крушение специальной оптической теории, но и представляла собой — в противовес указанной концепции — покушение на всю вообще действующую научную систему. С принятием волновой теории оптика как бы сразу выделилась из круга прочих физических дисциплин; с этих пор

6 УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ

область ее стала определяться не особой материей с особыми ее свойствами, а лишь своеобразным движением эфира — вещества, которое не имело специального отношения к свету и которое могло быть положено в основу не одних только световых, но и других физических явлений. Правда, с подобной же точки зрения уже с давних пор рассматривали другую физическую дисциплину — *акустику*: никто не объясняя звуковых явлений каким-либо особым звуковым веществом, аналогичным световому или тепловому, но все рассматривали звук только как особый вид движения весомой материи. Сторонники волновой теории света при своих оптических исследованиях всегда ссылались на акустические аналогии, а Т. Юнг даже прямо брал их за исходную точку в своих работах. Но, с одной стороны, под влиянием долгой привычки не замечали противоречия этого факта господствующему воззрению, а с другой стороны, акустика была, как бы исключена из числа самостоятельных физических дисциплин и рассматривалась только как некоторый придаток к механике. Подобное отношение к акустике представлялось тем более естественным, что до того времени физика почти не останавливалась на *звуковых ощущениях*, а занималась исключительно вопросами о происхождении и распространении звука. Более правильно было оценено принципиальное значение выдвинутых *Румфордом*, *Дэви* и другими в начале прошлого столетия возражений против *теплорода*, которых не удалось опровергнуть и с фактической стороны. Однако и здесь противники не сдались. Противопоставив новым фактам необходимость единства воззрений на явления природы, они стали подыскивать в прочно сложившейся системе господствующих теорий убедительные аргументы, которые как будто говорили в пользу реального существования оспариваемого вида материи.

По отношению к новой теории света подобные возражения были, конечно, уже немыслимы. Благодаря редкому сочетанию математического гения с экспериментальной изобретательностью науке удалось установить основы волновой теории с такой полнотой, что не осталось ни одной самой запутанной проблемы, каковы, например, дифракция и поляризация света, которая не была бы доступна математическому анализу; гипотезы, входившие в состав этой теории, находили при этом тысячекратное подтверждение и давали даже возможность наперед указать будущие оптические открытия, которые и подтверждались впоследствии с астрономической точностью. Теория истечения отжила, таким образом, свое время, и световое вещество было без возражений вычеркнуто из числа реально существующих объектов. Вместе с тем, однако, перед каждым вдумчивым физиком настоятельно возникал вопрос, следует ли при истолковании явлений совершенно отбросить элементарные виды материи с их первичными силами и сводить все явления к особым видам движения или же пока сохранить оба метода объяснения оптических явлений как равноправные. Последнее становилось, впрочем, все

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 7

труднее, так как вообще понятие о невесомых проявляло все больше и больше тенденцию к исчезновению. Уже в предшествующем периоде Ампер своей *электромагнитной теорией* опроверг реальное существование магнитных жидкостей, и хотя его гипотезы еще долгое время не достигали достоверности френелевского учения о свете, тем не менее, они придали большую вероятность предположению, что еще одна физическая дисциплина должна иметь своим основанием не особую материю, а особый род движения. Вдобавок к этому в конце прошлого и начале настоящего периода и *учение о теплоте*, по крайней мере, наполовину, освободилось от ига старой теории и вступило на новый путь. Обширные и тщательные исследования Меллони, Кноблауха и других с полной строгостью доказали, что тепловые лучи во всем, что не связано прямо с длиной волны, совершенно тождественны со световыми, а в отношении преломления, отражения, дифракции и поляризации соответствие между ними таково, что формулы, выведенные для одних лучей, могут быть прямо применены и к другим. Не оставалось, таким образом, ни малейшего сомнения, что тепловые лучи распространяются при помощи той же среды, как и световые, т. е. при посредстве эфира, и что *лучистая теплота*, во всяком случае, не имеет ничего общего с теплородом.

Конечно, несмотря на одержанные ею победы, новой теории света предстояло еще преодолеть значительные трудности, корни которых лежали, главным образом, в невыясненном отношении эфира к весомай материи. Правда, та же неясность имела место и при прежнем представлении о световом веществе, но теперь вследствие большей наглядности новой теории эти недочеты выступили резче прежнего. В предшествовавшем периоде мы уже указывали на не вполне успешные усилия выяснить сущность явления *дисперсии*; теперь предстояло преодолеть еще большие трудности по отношению к *поляризации*. Френель считал, что колебания поляризованного света происходят перпендикулярно к так называемой плоскости поляризации; позднее Нейман при объяснении этого явления исходил из прямо противоположного предположения. Этот вопрос много обсуждался, однако, не был окончательно разрешен, так что и теперь в случае голосования можно было бы ожидать, что голоса разделятся поровну. Точно так же для объяснения *отражения* света прозрачными телами Френель принимал, что отражение света происходит на плоскости, а Жамен и другие доказали, что вытекающие отсюда поляризационные состояния отраженных лучей не вполне соответствуют действительности. Вследствие этого френелевские формулы для интенсивности отраженных и преломленных лучей должны были утратить свое строгое значение, и Коши попытался вывести новые, более согласные с опытом формулы, допустив мгновенное возникновение *продольных волн* вблизи поверхности отражения. Но, с одной стороны, и эти формулы могли быть только приближенными, так как при их выводе не было принято в расчет погло-

8 УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ

щение света, а с другой стороны, предположение, сделанное Коши, сочли необходимым заменить другим, более вероятным, которое, однако, в свою очередь, не могло обеспечить выводам полной достоверности. В теории *абберрации* света встретились с новыми затруднениями вследствие того, что согласно волновой теории нельзя было непосредственно допустить полной независимости движения света в прозрачном теле от собственного движения последнего. Однако вскоре опыты Физо показали, что допустить такую независимость можно и при волновой теории; при этом произведенные для этой цели измерения скорости света в воздухе, жидкостях и твердых телах привели даже к прямым экспериментальным доказательствам в пользу волновой теории и против теории истечения. Наконец, все более частое применение в оптике *акустических аналогий* и их безусловная плодотворность ясно говорили в пользу кинетической разработки физических проблем. *Фосфоресценция*, которой вновь стали заниматься с большим интересом, представляла собою, правда, явление не неблагоприятное для теории истечения; но, с другой стороны, — путь к выяснению истинного значения *флюоресценции*, находящейся, несомненно, в тесной связи с фосфоресценцией, был указан лишь волновой теорией и законы ее были установлены впервые с помощью последней. Точно так же открытие Доплером изменения цвета вследствие движения источника света или тела, воспринимающего свет, могло быть сделано лишь на почве волновой теории, хотя для данного периода оно и явилось преждевременно созревшим плодом. Наконец, быстро расцветшая как раз в этот период *физиологическая оптика* показала, что даже для теории светового ощущения нет никакой необходимости в допущении особого светового вещества с особыми силами ощущения.

К сожалению, все эти доводы, столь благоприятные для кинетических воззрений на явления природы, уравнивались *неудачами в области электричества*. Попытка непосредственного применения волновой теории к электрическим явлениям совершенно не удалась: на электричестве не удалось констатировать ни одного из характерных явлений колебательного движения, как отражение, преломление, дифракция, интерференция и т. п. Какими-либо другими, не колебательными движениями эфира объяснить электрические явления тоже не удалось; единственное приближение к эфирной теории электричества заключалось в том, что, вернувшись с Фарадеем к *унитарной теории*, стали высказывать мысль о возможности отождествить принятую единую электрическую жидкость с эфиром. Однако и после этого многие французские и немецкие физики, в особенности физики-математики, продолжали придерживаться дуалистической теории электричества ввиду большого удобства ее применения, не предаваясь при этом сомнениям теоретико-познавательного характера.

Из всех физических дисциплин *механика* в описываемый нами период, по-видимому, меньше других нуждалась в обновлении, так как переворот в физике коснулся сперва только невесомых.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 9

Трудности, встречавшиеся при изучении *вращения* тел, в особенности при исследовании особых движений на вращающихся телах, носили по существу математический характер, и как раз здесь, в той области, откуда экспериментальная физика была, как будто вовсе исключена, последняя отпраздновала ряд побед. Опыты с *падением* и *бросанием тел*, *вращательные приборы* и в особенности *маятник Фуко*, примененный для доказательства вращения земли, возбудили столь живой интерес к механическим проблемам, какого уже давно не наблюдалось. И все-таки механика должна была постепенно, хотя сначала почти незаметно, быть втянутой в общий переворот воззрений. На это указывала уже все более и более возрастающая неуверенность в правильности обоснования так называемых *начал механики*, выразившаяся в этот период в многочисленных и тщетных попытках обосновать *параллелограмм сил*. Непосредственные, трудно преодолимые препятствия представляла в особенности механика *молекулярных сил*. При выводе явлений движения весомых конечных масс формула сил Ньютона была для аналитической механики вполне достаточна, а необходимый для образования системы элемент отталкивания уже сам Ньютон вполне кинетически объяснил центробежной силой, т. е. сохранением движения. Но поскольку в телах не признавали движения молекул, *молекулярная механика* должна была допустить наряду с притяжением также и *отталкивание* молекул, причем относительно последнего было только установлено, что оно должно убывать с расстоянием гораздо быстрее, чем притяжение. Но так как эту силу отталкивания пришлось совершенно отождествить с отталкивательной силой тепла, то тем самым механика была, очевидно, поставлена в зависимость от судьбы невесомых, что, впрочем, привело к неизбежным выводам лишь в последующий период, с возникновением новой теории газов. Однако независимо от этого молекулярная механика заключала в себе много других невыясненных элементов. В то время как математик, работая в области механики, пытался свести все явления к действию двух упомянутых противоположных сил, физик был вынужден для объяснения молекулярных явлений принимать другие, не первичные, а производные силы, вывод которых из элементарных сил был неясен или же оставался совершенно необоснованным. Возбудившие всеобщий интерес опыты Плато, касавшиеся свойств *жидких пленок*, удивительные явления быстрого *расплывания жидкостей по жидкостям*, усердно проводившиеся работы по *волосности*, *диосмосу*, *диффузии жидкостей* и *газов* (где с особым успехом работал Грэхем), интересные возбудившие столь большие надежды опыты Мозера с *осаждением паров*, *абсорбция газов жидкостями* и твердыми телами, *растворение* последних в жидкостях — все эти явления требовали и подтверждали разделение молекулярного притяжения на две различные силы: *сцепление* и *прилипание*. Но о том, как вывести их из общего источника, из силы притяжения, и чем принципиально объяснить их различие в отдельных телах, об этом едва решались судить. Ко всему

10 УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ

этому прибавились еще новые силы, которых нельзя было свести ни к сцеплению, ни к прилипанию. Таковы были: введенное Пуассоном и теперь вновь подтвержденное *поверхностное натяжение*, *осмотическая сила* Грэхема и *вязкость*, проявляющаяся не только в жидкостях, но и газах, и вызывающая явления, которые, правда, обозначили определенным термином *внутреннего трения*, но которые были достаточно внимательно исследованы лишь в течение последующего периода. Наконец, даже впервые теперь удавшийся опыт *сжижения газов* с помощью давления не укладывался в рамки старой физики, поскольку им стирались прочные грани между различными агрегатными состояниями вещества.

Таким образом, положение физики в этот период становилось все более и более хаотичным. Наряду с весомой материей, невесомыми электрическими жидкостями и, пожалуй, еще одной невесомой жидкостью — теплородом, существовал еще и эфир, о котором не знали, считать ли его весомым или невесомым. При этом невесомые жидкости перемещались друг по другу, сталкивались и проникали друг в друга таким образом, что допустить эту путаницу можно было, лишь исходя из мысли о совершенно нематериальной природе этих веществ. Такому дуализму материи в полной мере соответствовал и дуализм действия сил. Весомой материи, как и старым невесомым, были присвоены элементарные силы, которые действуют на расстоянии непосредственно, независимо от состояния движения вещества; эфир же проявлял свои силы лишь с помощью движений, способных переходить от одного места к другому не мгновенно, а постепенно, с конечною скоростью.

Все это, конечно, требовало каких-то изменений, но осуществить последние было труднее, чем держаться старого. После решительного фиаско Гегеля *натурфилософии* как философской науки не существовало, а самому физiku обратиться к натурфилософии тотчас же после своей борьбы против философии не представлялось возможным; таким образом, науки, построенной на единстве воззрений на материю и силу, по всем признакам не существовало. К этому присоединилось еще и то обстоятельство, что значение *атомистики*, служившей до сих пор наиболее твердой опорой теории материи, в это время было поколеблено в самой ее основе — в области химии. Атомная теория, столь содействовавшая до сих пор прогрессу химии, становилась все более беспомощной в объяснении постепенно усложнявшихся химических явлений. Многочисленные *изомерии*, *метамерии* и *полимерии*, равно как постоянно возрастающее число *аллотропических модификаций*, были, по-видимому, несовместимы с принятой неизменностью атомов; одна значительная школа химиков вовсе отбросила атомы как ненужную фикцию и даже заменила термин «атомный вес» выражением «эквивалент»¹. Поэтому неудивительно, что значи-

¹ В своих „Vorträge über die Entwicklungsgeschichte der Chemie in den letzten hundert Jahren“ (Braunschweig 1887, стр. 188) А. Ладенбург писал о химии в начале 40-х годов: „Гмелинская школа значительно усилилась, и атомистическая,

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 11

тельная часть физиков, еще не вполне освоившихся с крушением старой системы, считала невозможным систематическое построение науки на более глубоких, хотя непосредственно и необозримых началах; новые открытия, казалось, указывали им, что не следует выходить за пределы прямого наблюдения и что всякий закон природы может быть строго установлен лишь посредством эмпирических приближенных формул. Таким физикам представлялось научно допустимым только описание непосредственно наблюдаемых явлений и надежными лишь правила, индуктивно выведенные из многих наблюдений; гипотезы же о причинах явлений представлялись для них при всех условиях лишь вспомогательными построениями, облегчающими общее обозрение результатов и вывод законов, но лишенными всякого объективного значения. Благодаря этому физические гипотезы, с одной стороны, представлялись совершенно произвольными и могли быть совершенно несвязанными между собою и даже противоречащими друг другу, а с другой стороны, — оперирование с такими не реальностями считалось вообще опасным, и тем опаснее, чем стройнее была теория и чем шире был круг ее применения. Физики этой школы становились особенно нетерпимыми в тех случаях, когда гипотеза в своем развитии приобретала заманчивый облик реальности. Тогда выражение Ньютона «я не строю гипотез» они превращали в инквизиторское правило: «не смейте строить гипотез».

Однако, несмотря на этот запрет и даже на несколько аутодафе, совершенных в честь последнего, те из физиков, которые продолжали сознавать потребность в более глубоком причинном изучении явлений и не утратили веры в возможность познания мира, продолжали заниматься вопросами о внутренней сущности явлений и их причинной зависимости и требовать реальности всех признанных материй и сил, по меньшей мере, как идеала человеческого познания. При таком взгляде на дело представлялось необходимым разрешить основные противоречия в науке — произвести выбор между различными элементарными невесомыми и единым эфиром или, еще глубже, — между различными первичными силами, приписываемыми ввиду разнородности их действия различным материям, и непрерывными движениями (которые все можно переносить на части материи) как всеобщей причиной явлений. Однако прямой доступ к невесомым был невозможен, так как они представляли собою по существу не что иное, как абстрактные основы для определенных действий силы;

теория показалась ей слишком гипотетичной... С падением системы Берцелиуса, единственной системы, которая охватывала всю науку с единой точки зрения... у многих появилось некоторое отвращение ко всякой спекуляции, которую стали считать преждевременной и вредной для науки. Своевременным считалось только трезвое истолкование наблюдений. Так как для этой школы формулы давали лишь сокращенный способ изображения состава тел, то она имела право выбирать произвольно свои эквиваленты из ряда кратных; руководящим началом для нее служила лишь простота выражения".

12 УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ

следовательно, если желательно было добиться ясности, приходилось начинать с *проблемы сил*.

Этим по существу одинаковым путем и пошли два передовых бойца новейшей физики — Роберт Майер и Джоуль, с тою лишь разницею, что первый исходил прямо из общей проблемы, а специальную проблему привел лишь в качестве примера; второй же, исходя из этой частной проблемы, отсюда уже поднялся до общей. Оба они исходили из полной взаимной превратимости сил как из вполне установленного факта, и оба они установили постоянство отношения этих превращений во всех случаях, но Майер установил такое постоянство в самом общем виде для всех сил вообще, а частный случай постоянства отношения для взаимного превращения теплоты и механической работы привел только в качестве примера; Джоуль, наоборот, сначала путем многочисленных и тонких опытов определил механический эквивалент теплоты и уже потом высказал мысль, что аналогичное постоянство отношений является, по меньшей мере, вероятным и при превращении всех других сил.

Благодаря работам Джоуля *закон сохранения силы* был очень скоро признан. Вместе с тем устранение невесомой материи как реального вещества стало совершенно неизбежным, так как превращение, при котором одна сила непрестанно порождается, между тем как другая все время исчезает в совершенно определенном отношении, мыслимо лишь при условии, если силы рассматриваются не как особые свойства неразрушимых и непревратимых материй, а как действия различных движений.

Прежде всего, этот вывод был применен к теплороду, который и покончил свое существование тотчас же после появления закона сохранения силы. Уже в первых своих работах Джоуль показал, что как тепло весомых тел, так и свободная лучистая теплота, должны быть сведены к движению и именно к движению материальных молекул. Майер тоже самым решительным образом отрицал материальность теплоты, и физики, за немногими исключениями, присоединились к этому воззрению. Затем Клаузиус, Томсон и Ранкин взяли на себя трудную задачу: механическое действие теплоты, которое Карно столь удачно объяснил падением теплорода, вывести из тепловых движений и тем самым построить теорию термодинамических машин на новых теоретических основаниях. Благодаря их исследованиям, наряду с законом сохранения силы как *первым началом* было разработано *второе начало* новой теории теплоты, гласящее, что не вся теплота, заключенная в теле, может быть просто превращена в механическую работу. В связи с этим вторым началом возник длинный спор по вопросу о границах его применимости, оставшийся неразрешенным и до настоящего времени. Однако именно этот спор очень много способствовал дальнейшему развитию воззрений в новом направлении. Благодаря тому, что во время этих дискуссий ученые рассматривали проблемы теплоты исключительно с точки зрения особого рода движения, они мало-помалу

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 13

вышли из специальной области теории теплоты и вступили в область более общих механических представлений. *Благодаря этому второе начало, постепенно расширяясь, превратилось в общее механическое начало; вместе с тем все вообще физические дисциплины, освободившись от ига невесомых, начали развиваться как отдельные части единой механической или, лучше сказать, кинетической физики.* Подобный же процесс превращений претерпело между прочим и трудное понятие *температуры*, которая сначала определялась как тепловое ощущение, потом как эффект теплового обмена, а затем в конце концов была сведена к движению и, следовательно, опять-таки получила механическое истолкование.

Нам остается еще упомянуть о характерном для нового времени развитии в области *электричества*. Выше было уже указано, что попытки отказаться от невесомых здесь меньше всего удались, а попытки создать механическую теорию электричества оказались совершенно неудачными. Несмотря на это, В. Вебер, тоже неотступно придерживавшийся электрических жидкостей, выступил с работой, в которой он доказал, что формула сил Ньютона совершенно недостаточна для характеристики электрических действий, что притягательные и отталкивательные силы электрических жидкостей не являются независимым от движений, как того требуют ньютоновские представления, и что они зависят не только от скорости, но и от ускорения движения. Таким образом, прежде всего Веберу удалось освободить и электрические силы от старого представления, что они являются элементарными свойствами материи; с другой стороны, он, по крайней мере, частично, свел действие их к движению, положив, таким образом, начало неизбежно последовавшей затем, как мы увидим, разработке вопроса в этом направлении. Той же цели Вебер способствовал введением в теорию электричества *абсолютной системы мер*: в самом деле, если все действия электричества можно полностью выразить в абсолютных единицах массы, пространства и времени, то эти действия должны быть совершенно независимы от каких-либо специфических электрических жидкостей.

Следует, однако, заметить, что в течение ближайшего периода, подлежащего нашему рассмотрению, были заложены собственно только первые основы новых воззрений, новой механической физики; вполне же сознательное дальнейшее развитие нашей науки в этом новом направлении приходится в большинстве случаев на следующий период. Доказательством этому служит, между прочим, тот факт, что на закон сохранения силы зачастую смотрели только как на обобщение правила, давно уже известного в отдельных специальных случаях, и лишь в течение последующего периода вполне оценили его плодотворное значение.

СОХРАНЕНИЕ СИЛЫ. МАЙЕР, ДЖОУЛЬ, ГЕЛЬМГОЛЬЦ (приблизительно от 1840 до 1850 г.). Вместе с установлением закона инерции была признана и неразрушимость движения. Поэтому для физиков, которые не признавали других сил, кроме живой силы удара, иных причин движения, кроме движения же, — *сохране-*

14 ПЕРВАЯ РАБОТА МАЙЕРА

ние силы являлось основным началом всего естествознания, непосредственно вытекавшим из закона инерции. Поэтому *Декарт* высказал это начало ¹ с полной уверенностью в его очевидности, а следы такого взгляда встречаются задолго до него еще у *древних физиков-атомистиков* ². Иначе обстояло дело для тех физиков, которые в качестве причин движения приписывали материи *первичные силы*, допуская, что покоящееся тело само по себе способно приводить в движение другие тела. Если при этом так называемом *динамическом* воззрении на материю, безраздельно господствовавшем со времен Ньютона, и было вообще возможно установление единого закона для всех сил, действующих во вселенной, то лишь при условии невключения в него элементарных сил материи — поскольку последние вообще при известных условиях могут вызвать движение — и распространения этого закона только на ограниченные *дее- или работоспособности*, присущие телам в силу заданных их *взаимоотношений* или *их положения* во вселенной. Но поскольку различного рода деятельности как весомых, так и невесомых веществ рассматривались в их общей совокупности, закон сохранения силы не имел смысла. Лишь после того как научились принимать во внимание зависимость величины действия элементарных сил от заданных пространственных отношений, стало понятным постоянство ограниченной таким образом работоспособности вселенной. Правда, в некоторых сочинениях, посвященных измерению определенных действий сил, в математическом определении понятия работы уже встречаются указания на закон сохранения силы, однако общее признание его в качестве основного начала физики могло последовать лишь после того, как была доказана зависимость всех вообще физических действий сил от определенных пространственных отношений и было ясно сформулировано и постулировано новое понятие о силе как определенной работоспособности. Это бесспорно впервые сделал *Юлиус Роберт Майер*. Но так как это достижение не явилось результатом какого-нибудь осязательного, *вновь открытого явления*, а имело главную свою ценность в выставленном им требовании *нового воззрения* на силу, то по установившемуся с давних пор порядку это достижение сначала не было понято и признано. Заслуга Майера даже в настоящее время оспаривается теми односторонними физиками, которым угодно считать научным один только экспериментальный метод исследования.

Первую свою работу Майер опубликовал в мае 1842 г. под малоудачным заглавием «Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur» ³ («Замечания о силах неодушевленной природы»). Она начинается следующими словами: «Целью нижеследующих строк является

¹ „Principia philosophiae, II, § 36.

² См. *G. Berthold*, Notizen zur Geschichte des Princips von der Erhaltung der Kraft, „Pogg. Ann.“, CLVII, стр. 342.

³ „Ann. d. Chem. u. Pharm. von Wöhler und Liebig“, XLII, стр. 233, 1842; перепечатано в „Die Mechanik der Wärme“ von J. R. Mayer, стр. 3—12, Stuttgart 1874. *Поггендорф* не принял этой статьи для своего журнала и не поместил у себя ни одной из последующих статей Майера.

(Упомянутая работа Майера, вместе с тремя другими статьями на ту же

О СИЛАХ НЕОДУШЕВЛЕННОЙ ПРИРОДЫ 15

попытка ответить на вопрос, что следует понимать под «силами» и как они относятся друг к другу... Силы являются причинами, следовательно, к ним вполне применимо положение: *causa aequat effectum* ...¹ В цепи причин и действий, как это вытекает из природы равенства, не может когда-нибудь один член или какая-нибудь часть члена стать нулем: это первое свойство всех причин мы называем их *неразрушимостью* ... Другое существенное свойство всех причин заключается в их способности принимать различные формы. Принимая во внимание оба эти свойства, взятые совместно, мы говорим: причины суть (количественно) *неразрушимые* и (качественно) *превратимые* объекты... Причина, обуславливающая поднятие груза, есть сила; ее действие, *поднятый груз*, есть, следовательно, тоже *сила*; или, выражаясь, общее: *пространственная разность весовых объектов есть сила*; так как эта сила обуславливает падение тел, то мы называем ее *силой падения*. Показав, таким образом, на примере правильное понятие силы и ее признаков, Майер пытается разрушить старое ходячее представление о силе. «Рассматривая тяжесть как причину падения тела, говорят о силе тяжести и смешивают, таким образом, понятия силы и свойства; как раз то, что должно быть существенно присвоено каждой силе, *соединение* неразрушимости с превратимостью, отсутствует у всякого свойства... Если тяжесть называют силой, то при этом представляют себе причину, которая производит действие, не убывая сама по себе, и таким образом поддерживают неправильные представления о причинной зависимости вещей. Для того чтобы тело могло упасть, его поднятие не менее необходимо, чем его тяжесть, поэтому падение тел нельзя приписывать только последней». Связь между силой падения и силой движения, равно как отношение их взаимной превратимости, уже давно определена и известна; но часто мы видим, что движение прекращается без того, чтобы оно вызвало другое движение или же привело к поднятию тяжести. Для того чтобы в подобных случаях определить, что произошло в результате исчезнувшего движения, следует применять для наблюдения такие приборы, которые, останавливая движение, сами по возможности изменялись бы как можно меньше подлежащими исследованию объектами. Так, например, если при трении друг о друга двух металлических пластинок мы наблюдаем наряду с уничтожением движения образование теплоты, то возникает вопрос, составляет ли движение причину тепла. Но при таком трении не происходит никакого изменения пластинок, кроме образования металлической пыли; однако последняя не может быть причиной исчезнувшего движения, так как из пыли, конечно, нельзя получить обратно движения. «Повторяем, движение не может превратиться в ничто, а противоположные или положительные и отрицательные движения нельзя считать равными нулю, совершенно так же, как из нуля не могут возникнуть противоположно направленные движения, как не может сам собою подняться груз... Поскольку установлено, что во

тему, переведены на русский язык и выпущены в свет ГТТИ, под заглавием: *Роберт Майер, Закон сохранения и превращения энергии*, 1933. *Прим. ред.* ¹ Причина равновелика действию.

16 ПОНЯТИЕ СИЛЫ У МАЙЕРА

многих случаях (*exceptio confirmat regulam* — исключение подтверждает правило) для исчезнувшего движения нельзя найти никакого другого действия, кроме теплоты, и для образовавшегося тепла никакой другой причины, кроме движения, мы предпочитаем принять положение, что тепло возникает из движения, чем допустить существование причины без действия или действия без причины... Естественную связь между силой падения, движением и теплотой можно себе наглядно представить следующим образом. Мы знаем, что тепло появляется при сближении отдельных частей массы какого-либо тела; сгущение развивает тепло; но то, что справедливо для мельчайших частиц массы и их мельчайших промежутков, должно быть применимо и к большим массам и к их измеримым расстояниям. Опускание груза есть действительное уменьшение объема тела земли и должно, конечно, стоять и в связи с проявляющимся при этом теплом; теплота эта должна быть точно пропорциональна величине груза и его (первоначальному) расстоянию... Если силы падения и движения равны теплоте, то, конечно, и теплота должна быть равна движению и силе падения. Как тепло возникает в качестве действия при уменьшении объема и при прекращении движения, точно так же исчезает тепло в качестве причины при наступлении его действия, как-то: движения, увеличения объема и поднятия груза. В водяных силовых установках возникающее благодаря постоянному уменьшению объема, испытываемому землей вследствие падения воды, и затем исчезающее движение непрерывно развивает значительное количество теплоты; наоборот, паровые машины служат для превращения теплоты обратно в движение или для поднятия груза. Локомотив с его поездом можно сравнить с перегонным аппаратом: теплота, подводимая к котлу, переходит в движение, а последнее в свою очередь выделяется на осях колес в виде значительного количества тепла. В этой работе Майер не входит в рассмотрение взаимных отношений между другими физическими силами, кроме силы падения, теплоты и движения; заканчивает он ее, не отмечая при этом важности или новизны последующего изложения, определением количественного отношения, в котором превращаются друг в друга сила падения и теплота, или, как мы теперь говорим, определением механического эквивалента теплоты¹. «Мы заключим наши тезисы, вытекающие с необходимостью из основного положения *causa aequat effectum* и находящиеся в полном согласии со всеми явлениями природы, одним практическим выводом. — Для решения уравнений между силой падения и движением должно быть определено с помощью опыта пространство падения за определенное время, например за первую секунду; точно так же для решения уравнений между силой падения и движением, с одной стороны, и теплотою — с другой, необходимо ответить на вопрос, как велико количество тепла, соответствующее определенному количеству силы падения или движения. Так, например, мы должны были бы определить, на какую высоту над поверхностью земли следует поднять

¹ Последующие слова, приведенные из работы Майера без изменений сокращений, являются заключительными строками этой работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА ТЕПЛОТЫ 17

определенный груз, чтобы его сила падения была эквивалентна нагреванию равной ему по весу массы воды от 0 до 1°. Что такое уравнение действительно имеет свое основание в природе, может быть рассматриваемо как резюме всего изложенного выше. Применяя установленные выше положения к тепловым и объемным отношениям газов, мы найдем, что снижение столба ртути, сжимающего газ, равно количеству тепла, освобожденному в результате сжатия; а отсюда получается — если принять отношение теплоемкостей атмосферного воздуха при постоянном давлении и при постоянном объеме равным 1,421,— что снижению некоторого веса с высоты около 365 м соответствует нагревание равного ему веса воды от 0 до 1°. Если с этим результатом сравнить полезное действие наших лучших паровых машин, то станет ясно, что лишь незначительная часть тепла, подводимого к котлу, действительно превращается в движение или поднятие груза; и этим можно было бы вполне оправдать попытки открыть выгодный путь получения движения не путем использования химической разности между С и О, а иным способом, а именно путем превращения в движение электричества, полученного с помощью химических процессов».

Работа Майера была для научного мира ударом по воде, или, точнее, холостым выстрелом; это оправдывается, хотя и не объясняется, самой статьей. Заглавие ее было слишком мало выразительно, чтобы обратить на себя внимание. Попытка выработки нового понятия силы была выражена слабо и, во всяком случае, необходимость такой реформы не была выявлена. Величина механического эквивалента тепла была выведена неясно и непонятно, причем это было сделано как-то мимоходом и только в виде простого практического примера.

Все эти недочеты были устранены в работе, появившейся три года спустя и содержавшей в себе полное, систематическое развитие новых воззрений. Однако и на этот раз заглавие «Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel» («Органическое движение в связи с обменом веществ») ¹, к сожалению, не охватывало всего содержания работы. Именно, здесь Майер рассматривает не только органическое движение, но восполняет то, что не было сделано в первой статье, — он дает вполне ясное систематическое развитие нового понятия силы, применение этого понятия ко всем физическим силам и, наконец, обстоятельный вывод механического эквивалента тепла. *Поэтому вторую статью и следует считать собственно основным трудом Майера, а первую — только предварительным сообщением, имевшим лишь целью закрепить за автором приоритет открытия.*

Здесь Майер снова начинает с рассмотрения понятия силы. «Понятия, разработанные механикой для своих собственных целей, развиваются другими науками дальше, чем этого требовал бы их первоначальный смысл. На вопрос, что следует понимать под «телом», геометр ответит: «Да не осудят меня физик, зоолог, психолог и т. д., но, согласно нашим понятиям, тело есть пространство, ограниченное в трех измерениях». Механик, представляющий себе возникновение,

¹ Heilbronn, 1845. — Помещена в „Die Mechanik der Wärme" von J. R. Mayer, стр. 13—126, Stuttgart 1884.

18 ГЛАВНАЯ РАБОТА МАЙЕРА (1845 г.)

изменение и прекращение каждого движения как результат некоторого давления, называет последнее *in abstracto* (абстрактно) «силой»; способность же массы производить подобное давление — *тяжесть* — он называет некоторой силой. Но, не останавливаясь на абстракции механики «сила равна давлению», в других науках тяжесть сделали типом силы и вызвали этим искусственное смешение понятий: свойство, сила, причина, действие; этим создали огромное препятствие для построения здания науки¹. *Поэтому прежде чем приступить к исследованию физиологических законов, да позволено нам будет условиться с читателем насчет понятия силы».*

Новое определение понятия силы Майер развивает затем совершенно так же, как в первой своей работе, но только здесь он высказывает свои положения более определенно и ясно. «Что химия выполняет по отношению к материи, — говорит он, — то должна выполнить физика по отношению к силе. Изучить силу в ее различных *формах*, исследовать условия ее *превращений* — такова единственная задача физики: ибо как *возникновение*, так и *уничтожение* силы лежит за пределами человеческого мышления и действия... *В действительности существует только одна единственная сила*. В вечной смене циркулирует она и в мертвой и в живой природе. И там и здесь нет процесса без изменения формы силы!»

Движение и сила падения представляют собою отдельные формы силы: их неразрушимость при взаимном превращении давно уже признана механикой в форме начала сохранения живой силы. «*Теплота* есть сила, (потому что) она может быть превращена в механический эффект... Равные количества горючего материала дают при одинаковых условиях равные количества тепла; но угли, сгорающие под котлом, дают меньшее количество свободной теплоты, когда машина работает, чем в том случае, когда она бездействует... Гей-Люссак доказал на опыте, что упругая жидкость, переходя из одного резервуара в другой равной величины, освобожденный от воздуха, охлаждается в первом сосуде на столько же градусов, на сколько она нагревается во втором... Но равным образом установлен и тот факт, что газ, расширяющийся *под некоторым давлением*, испытывает *понижение* температуры... *Количество тепла, которое должно быть применено для того, чтобы произвести определенный механический эффект, должно быть определено экспериментальным путем*». Это определение Майер осуществляет следующим образом: «Один кубический сантиметр ат-

¹ Нет ничего удивительного в том, что Майер, устанавливая новое понятие силы, был настроен отрицательно по отношению к попытке построения материи, сделанной Кантом в его „Метафизических основах естествознания“, хотя в полной мере оправдать такое отношение едва ли возможно. Очень характерно в этом отношении одно место из доклада, сделанного Майером в 1870 г.: „*Материя существует и уже в самом ее существовании заключено право на существование. Когда кенигсбергский философ попытался разложить мир на центростремительную и центробежную силы, он применил очень неудачную и сбивчивую терминологию, которая принципиально неправильна и жизнеспособна... К счастью естественные науки эмансипировались от философских систем и*» опираясь на опыт, очень успешно продвигаются своим собственным путем“ („Mechanik der Wärme“, стр. 333).

ВЫЧИСЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА ТЕПЛОТЫ 19

атмосферного воздуха при 0° и при барометре, показывающем 0,76 м, весит 0,0013 г; будучи нагрет при постоянном давлении на 1° С, он расширяется на $\frac{1}{274}$ своего объема и тем самым поднимает столб ртути с основанием в один квадратный сантиметр и высотой в 76 см на $\frac{1}{274}$ см. Вес такого столба составляет 1 033 г. Удельная теплоемкость атмосферного воздуха при постоянном давлении, если принять теплоемкость воды за единицу, равна, по Деларошу и Берару, 0,267; следовательно, количество тепла, принимаемого нашим кубическим сантиметром воздуха для того, чтобы при постоянном давлении повысить свою температуру с 0 до 1° , равно тому количеству тепла, с помощью которого 0,0013X0,267 или 0,000347 г воды нагревается на 1° . По Дюлонгу, за которым следует большинство физиков в данном вопросе, количества теплоты, которые воздух принимает при постоянном объеме и постоянном давлении, относятся друг к другу, как 1:1,421; сообразно с этим исчисляется, что для нагревания нашего кубического сантиметра воздуха на 1° при постоянном объеме требуется количество тепла, равное $0,000347/1,421=0,000244^\circ$. Следовательно, разность $0,000347-0,000244=0,000103^\circ$ и есть то количество теплоты, благодаря применению которого груз $P=1033$ г был поднят на высоту $h=\frac{1}{274}$ см. Отсюда после пересчета получается, что 1° теплоты равен 1 г, поднятому на 367 м или 1130 париж. фут. высоты ¹. Такой же результат получается, если вместо атмосферного воздуха взять для расчета какой-либо другой простой или сложный газ. *Закон «Теплота равна механическому эффекту» не зависит от природы упругой жидкости, служащей лишь орудием для превращения одной силы в другую».*

После такого совершенно точного определения механического эквивалента теплоты, основанного на лучших измерениях того времени, Майер переходит к дальнейшей оценке этого числа. По данным Либига 1 г углерода дает при сгорании 8 558° тепла — количество, которого достаточно для поднятия 3 600 000 г на высоту 1 м; т. е. «такой эффект получился бы в случае отсутствия всяких тепловых потерь. *Но подобно тому как из данного количества хлора, металла и кислорода нельзя получить хлорноватую соль без образования побочных продуктов, так и теплота не может быть вся целиком превращена в движение»* ². Постоянство соотношения между теплотою и силою падения и здесь доказывается столь же своеобразным способом, как и

¹ Позднее, при повторном напечатании этой статьи, Майер отмечает, что на основании новых более точных измерений Реньо для рассматриваемого соотношения между теплотой и давлением газа получается 1° теплоты = 1 г, поднятому на 425 м или 1308 парижских фут. высоты, что во всех дальнейших своих вычислениях он впредь будет применять эти последние числа.

² „Mechanik der Wärme“, Stuttgart 1874, стр. 31—32. *Положение это, стоящее у Майера особняком, интересно в том отношении, что оно ясно напоминает об ограниченном значении второго начала теории теплоты по отношению к первому.*

20 СИЛА ПАДЕНИЯ, ЖИВАЯ СИЛА И ТЕПЛОТА

в первой работе. «Если предположить, что вся земная кора могла бы быть приподнята вверх на поставленных повсеместно столбах, то для поднятия такой невероятной тяжести потребовалась бы затрата огромного количества тепла. Но если отсюда ясно, что *увеличение* объема тела земли, как и всякой вообще массы, связано с «переходом в скрытое состояние» соответствующего количества теплоты, то также ясно, что при *уменьшении* объема должно снова освобождаться равное количество тепла. Но то, что имеет место по отношению к земной коре в целом, должно быть применимо к любой ее части. При поднятии самой ничтожной тяжести теплота (или другая какая-либо сила) должна перейти в скрытое состояние, а при опускании этой тяжести эта теплота должна освободиться. Только что было показано, что для поднятия тяжести в один килограмм на 425 м требуется одна единица тепла; отсюда следует, что *груз в один килограмм, падая с высоты 425 м, должен освободить посредством удара или трения одну единицу тепла (калорию)*. Традиционные предпосылки о сущности движущей силы и движения помешали физикам увидеть этот совершенно ясный факт, твердо обоснованный на опыте. Ньютон (Princ. I, Def. VIII) определенно рассматривает *тяжесть* как *causa mathematica* и предостерегает против толкования ее как *causa physica* ¹. Однако это существенное различие было оставлено без внимания последователями Ньютона: тяжесть, или причина *ускорения*, принималась за причину движения, и таким образом допускалось возникновение движения *без затраты* силы, поскольку при падении груза тяжесть совершенно не потребляется. Необходимым следствием такого способа происхождения явилось допущение возможности превращения *данного* движения при некоторых условиях в ничто... Если зачерпнуть из большого бассейна, моря или океана стакан воды, то вызванной этим убыли в огромной массе воды нельзя будет заметить. Но если бы мы допустили, что в море не происходит никакой убыли вещества вследствие изъятия нескольких унций жидкости, то отсюда необходимо пришлось бы сделать тот вывод, что эти унции были созданы из ничего, а, будучи обратно отданы морю, — они снова превратились в ничто. Подобное же заключение применимо и к силам. Итак, мы ставим вопрос, является ли постоянной движущая сила, которая сообщает телу, падающему на землю с высоты 15 фут., скорость в 30 фут.? На это обыкновенно отвечают: уменьшение и увеличение тяготения для таких ничтожных высот может быть, в сущности, оставлено без внимания; следовательно — «да». Мы же говорим — «нет». Если бы сила была постоянной, то за соответствующее время она должна была бы произвести движение любой величины; для этого, однако, недостает многого. Скорость, которую может приобрести груз при падении на землю, имеет определенный *максимум*; последний составляет 345 000 фут. (11 200 м) в секунду; с такою скоростью *G* достигнет поверхности

¹ В примечании Майер определяет силу падения равной mc^2 , выражая тяжесть через dc/dt (как это было принято в то время, Майер в качестве меры работы принимал еще полное произведение mc^2).

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ 21

земли T масса m , падая из бесконечного расстояния. Следовательно, результирующая из *всего* пространственного расстояния масс T и m движущая сила, или полная сила падения массы m , равна mG^2 . Результирующая же частичная сила, вызванная частичным расстоянием между массами, есть легко исчислимая часть полной силы. Для земных высот числителем этой дроби является путь падения, а знаменателем — радиус земли. Таким образом, при падении массы m с высоты 15 фут. получается величина движения, равная $G^2 \cdot (15/196050)$ откуда скорость, с которой m упадет на землю, равна $G\sqrt{(15/196050)}$. Когда груз, падая с бесконечно большой высоты, достиг расстояния от земли, равного 15 фут., то на это было израсходовано $1\,299\,999/1\,300\,000$ полной силы падения; в остатке имеется еще $1/1\,300\,000$ этой силы, и при затрате этой, правда, сравнительно очень небольшой силы, может быть получено и сравнительно столь же небольшое действие, а именно движение m со скоростью 30 фут. Таким образом, ясно, что случай падения не дает оснований для каких-либо исключений из аксиоматического положения о пропорциональности между движением и затраченной на него силой. Затрата силы бывает равна нулю лишь в том случае, когда груз только производит давление, но сам при этом не опускается. *Постоянной* силы, т. е. силы, которая, проявляя действие, при этом сама не уменьшается, для физика не существует».

К движению, силе падения и теплоте присоединяется еще четвертая форма проявления физической силы — *электричество*; происходит ли оно от *трения* или через *влияние*, источником его всегда бывает затрата механического эффекта. Представим себе крышку *электрофора* уравновешенной противовесом; тогда она может без всякой затраты силы производить маятникообразные качания вверх и вниз. Представим себе, далее, что когда крышка при качании достигла самой низкой точки своего положения, под нее подставлен на надлежащем расстоянии наэлектризованный смоляной круг,— этот последний тотчас же притянет крышку, поднимет противовес и даст, таким образом, некоторый прирост силе падения. Если мы затем извлечем из крышки искру, то притяжение ее станет сильнее прежнего и для поднятия крышки потребуется теперь не только весь запас выигранной силы падения, но еще и некоторый избыток. Зато из поднятой крышки мы можем извлечь вторую искру, после чего только вся система вернется в первоначальное состояние. Таким образом затратой механической силы достигнуты два электрических эффекта и сумма последних должна быть как раз равна затраченной механической силе. К подобным же результатам приходят и при получении *электричества от трения*. «Соприкасающиеся друг с другом вещества удерживаются прочно вместе с образовавшимися противоположными электричествами; но необходимое для получения электрических эффектов разъединение этих веществ не может произойти без затраты механического эффекта. Известно также, что при образовании электричества путем трения теплота

22 ХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

от трения отсутствует. При «сообщении» электричества изложенные только что отношения притяжения обращаются в противоположные здесь затрачивается электрическая сила и получается механический эффект. При всяком сообщении электричества некоторая часть его нейтрализуется, как нейтрализуется движение при неупругом ударе».

«Совершенно так же, как получается электричество, может быть путем индукции получен за счет механического эффекта и магнетизм. Данный магнит играет роль электрофора».

Тот же самый эффект, который получается от столкновения движущихся масс, т. е. тепло, дает и *химическое соединение* известным веществ. Стало быть и «химически раздельное существование или, короче, *химическая разность материи есть сила*. Химическое соединение 1 г углерода с 2,6 г кислорода приблизительно эквивалентно соединению груза в 0,5 г весом с землею (т. е. силе падения на *землю*, половины грамма с бесконечной высоты); тем и другим путем получается соответственно 8500° и 7400° теплоты. Химическое соединение 1 г водорода (если теплоту его сгорания принять по Дюлонгу равной 34 743°) с 8 г кислорода приблизительно эквивалентно механическому соединению груза в 2 г с землею».

«Если для небольших расстояний и малых скоростей энергии механических эффектов значительно уступают более резко выраженным химическим силам, то мы видим обратное отношение, когда через окружающую нас среду обращаем наши взоры к небесным пространствам... Земля движется по своей орбите со средней скоростью 93 700 фут. в сек. Для того чтобы произвести подобное движение сжиганием углерода, пришлось бы сжечь такое количество угля, которое по весу в 13 раз превышает вес земли; освободившегося при этом количества тепла было бы достаточно для того, чтобы нагреть на 110 000° количество воды, равное по весу земле. Значит, незначительной доли той силы, с которой земля движется по орбите, было бы достаточно для того, чтобы совершенно уничтожить механическую связь между всеми частицами земной массы. Но если представить себе, что масса, равная по своей тяжести земле, лежит спокойно на поверхности солнца, то для удаления этого груза от солнца на такое расстояние, на каком находится земля (принимая расстояние земли от солнца равным 215 радиусам солнца), и для сообщения ей скорости в 93 500 фут. в сек. потребовалась бы затрата силы еще в 429 раз большая, или же количество углерода весом в 5557 раз больше веса земли и т. д. Так как химические силы представляются недостаточными для получения подобных эффектов, то можно спросить, в каком же виде следует представить себе ту затрату силы, которая некогда оказалась в состоянии вызвать движения планет? Если предположить, что «вначале» земля была удалена от центра солнца на 430 солнечных радиусов и находилась в покое, а отсюда упала по направлению к солнцу до ее нынешнего расстояния в 215 радиусов солнца, то в результате этого падения она приобрела бы нынешнюю величину своего движения. То же самое можно сказать и обо всех планетах. Большие оси их орбит дают меру первоначального расстояния небесных тел, которые предполагаются вначале находившимися в состоянии покоя; большие оси являются выражением

ОТРИЦАНИЕ НЕВЕСОМЫХ 23

величины механического эффекта, сообщенного творцом каждой планете; они неизменны, как прошлое».

I *Химическая разность является источником силы и в вольтовом столбе.* «Явления восстановления и образования теплоты и механического эффекта, которые мы наблюдаем в качестве действия столба, обязаны своим происхождением затрате некоторой силы, данному расстоянию между металлом и кислородом, между солью и кислотой». Из всего этого неизбежно вытекает высказанная им уже в начале работы аксиома: *«При всех физических и химических процессах данная сила остается постоянной величиной»*. Майер, конечно, ясно сознает, какой переворот должно произвести это положение в основных воззрениях физиков, и выражает это в следующих убежденных и воодушевленных словах: *«Отстаивая alte cose (громким голосом) для движения его право на существование, его субстанциальность, мы, безусловно, должны отрицать вещественность теплоты и электричества»*¹. В самом деле, не было ли бы совершенно нелепо искать сущность движения и пространственного расстояния масс в жидкости, или приписывать одному и тому же объекту попеременно то материальное, то нематериальное существование. Итак, выскажем великую истину: *«Никаких нематериальных материй не существует»*. *Мы чувствуем, что здесь мы вступаем в борьбу с самыми укоренившимися гипотезами, канонизированными великими авторитетами; что вместе с невесомыми мы хотим изгнать из естествознания последние остатки богов Греции; но, с другой стороны, мы знаем, что природа в ее простой действительности выше и прекраснее любого создания рук человеческих, всех иллюзий сотворенного духа»*

¹ В первой статье Майера имеется не вполне ясное место: „So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlossen werden kann: Das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so wenig gilt, dieser Schluss für die Wärme. Wir möchten vielmehr das Gegentheil folgern, das, um zu Wärme werden zu können, die Bewegung — sei sie eine einfache, oder eine vibrirende, wie das Licht, die strahlende Wärme etc. — aufhören muss, „Bewegung zu sein“ („Mechanik der Wärme“, Stuttgart 1874, стр. 9—10). „Между тем сколь мало может быть на основании имеющейся связи между силой падения и движением сделан вывод, что сущность силы падения есть движение, столь же мало этот вывод имеет значение и для тепла. Более того, мы могли бы сделать противоположное заключение, что, для того чтобы сделаться теплом» движение — будет ли оно простым или вибрирующим, как свет, лучистая теплота и т. д. — должно перестать быть движением“ (Роберт Майер, Закон сохранения и превращения энергии, стр. 84, ГТТИ, 1933). Тэт в своих „Vorlesungen über einige neue Fortschritte der Physik“ (Braunschweig 1877, стр. 47—48) приводит это место как доказательство того, что Майера никак нельзя (не погрешая против фактов) назвать основателем новой теории теплоты. Цитируя приведенное выше место (не полностью), он делает следующее замечание: „Кроме того, Майер далее и не думал, что теплота зависит от движения, это обстоятельство является, пожалуй, лучшим комментарием к последовательности тех, которые постоянно говорят о теплоте как „о роде движения“ и в то же время считают Майера основателем новой теории теплоты... То, что Майер сказал в своей первой работе, этого он, насколько мне известно, не изменил и впоследствии“. Очень показательно, что Тэт чрезмерно резко нападая на Майера, даже не знает вполне удовлетворительной переработки рассматриваемого места, несмотря на то, что эта переработка была трижды опубликована в работах Майера еще до издания книги Тэта в 1877 г., а именно в 1845 („Die organische Bewegung“, стр. 36, Heilbronn 1845), в 1867 и 1874 гг. („Mechanik der Wärme“, стр. 52, 2-е издан., Stuttgart 1874).

24 ИСТОЧНИК СИЛЫ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Только после этого общего теоретического введения Майер переходит к настоящей теме второй своей работы, к *силам органических веществ*. При этом он, по-видимому, преследует две цели: с одной стороны, *выполнить свою главную задачу и доказать закон сохранения силы и в наиболее трудной и загадочной области природы, в области жизни человека, животных и растений*; а с другой стороны, — *осведомить о своей работе и воззрениях товарищей по профессии, врачей, чтобы сделать свои идеи плодотворными и в этой области*.

...«Согласно человеческим представлениям, продолжает он, — солнце является неисчерпаемым источником физической силы. Поток этой силы, изливающийся и на нашу землю, есть та постоянно заводящаяся пружина, которая поддерживает ход механизма всех деятельностей на земле... Недалеко еще от нас ушло то время, когда шел спор, способно ли *растение* во время своей жизни превращать или даже производить первичные химические вещества». Но подобно тому, как невозможность созидания материи из ничего уже давно была признана естественным законом и для организмов, то же самое должно быть совершенно так же признано и для силы. Ежедневный опыт показывает, «что ничто так не препятствует согревающему действию солнечных лучей на широкую земную поверхность, как богатая растительность, несмотря на то, что растения, благодаря темному цвету своих листьев, должны поглощать большую долю падающего на них солнечного света, чем обнаженная почва». С другой стороны, во всяком растении отложен запас силы — в виде химической разности, которым мы и можем в полной мере воспользоваться, сжигая растение. Закон логического основания побуждает нас поставить в причинную связь указанное потребление солнечных лучей и накопление химической силы; во всяком случае, можно считать аксиомой, что *«при жизненном процессе происходит лишь превращение вещества и силы, на отнюдь не их созидание»*. Но, конечно, вопрос о том, каким образом растения дальше применяют силу своей химической разности, сколько из нее переходит в свободную теплоту и сколько идет на поддержание жизненных процессов, все это представляет пока еще темную область, которая для своего разъяснения требует длительных физиолого-химических исследований и точных экспериментальных определений теплоты сгорания растительных веществ.

«Физическая сила, накопленная благодаря деятельности растений, используется другим классом существ, которые присваивают себе этот запас хищническим путем и применяют его для своих индивидуальных целей. Эти существа — *животные*. Живое животное постоянно забирает у растений горючие вещества и воспринимает их — для того, чтобы вновь соединить их с атмосферным кислородом. Параллельно такому использованию протекает и деятельность животных, характеризующая их жизнь: производство механических эффектов, движение, поднятие тяжестей... В организме животного постоянно расходуется известная сумма химических сил. Тройные и четверные соединения претерпевают во время жизни важнейшие изменения, переходя большую часть в двойные соединения, продукты сгорания, которые после короткого промежутка времени удаляются наружу». Количество тепла,

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЖИВОТНЫХ И ПОТРЕБЛЕНИЕ УГЛЕРОДА 25

которое может быть получено при таких процессах, еще недостаточно точно установлено на опыте; но в данном случае, когда речь идет только об установлении принципа, можно ограничиваться и приблизительной оценкой.

Считают, что лошадь напряжением произвольных своих мышц в течение 8 час. в день способна в каждую минуту поднять 4400 кг на высоту 1 м. Теплоту сгорания углерода, по Дюлонгу, примем равной 8558°; поднятие тяжести, соответствующее сгоранию одной весовой части кислорода, равно 3 600 000 таких же весовых частей на 1 м высоты. «Итак, если выразить затрату химической разности, которую должна понести лошадь, чтобы произвести вышеуказанное действие — в весе углерода, — то окажется, что это животное в течение дня потребляет для механических целей 580 г углерода; в час, считая день за 8 рабочих часов, 72 г и в 1 мин. — 1,2 г. Согласно общепринятым определениям работоспособность сильного работника составляет $\frac{1}{7}$ работоспособности лошади. Человек, поднимающий за день 300 000 кг на высоту 1 м, должен на это потребить 83 г углерода; это составляет 10 г за один рабочий час и 170 мг за одну минуту.

Игрок в кегли, бросающий шар весом в 4 кг со скоростью 10 м. потребляет на эту работу в 20 кгм — 6 мг углерода, так как эффект сгорания 1 мг равен 3,6 кгм. Человек, поднимающий свое собственное тело, 72 кг, на высоту 5 м, потребляет для этого 0,1 г углерода. При восхождении на гору высотой в 3000 м расход этого человека составляет 60 г углерода, если не считать потерь механического эффекта вследствие неупругих толчков, происходящих при каждом шаге. Если бы животный организм применил весь имеющийся у него горючий материал исключительно для *механических целей*, то исчисленных количеств углерода было бы достаточно для указанных промежутков времени. Но в действительности в животном теле, наряду с производством механических эффектов, всегда имеет место и *образование теплоты*. Итак, химическая сила, заключающаяся в потребленных продуктах питания и во вдыхаемом кислороде, является источником проявления двух сил — движения и теплоты, а сумма физических сил, произведенных животным, равна величине происходящего одновременно химического процесса.

Если собрать воедино все механические проявления силы животного за некоторый определенный промежуток и, превратив их путем трения, или иным каким-либо образом, в теплоту, прибавить сюда теплоту, непосредственно произведенную телом за тот же промежуток времени, то получится в точности то количество теплоты, которое как раз соответствует одновременно происходящему химическому процессу.

Закон логического основания запрещает допустить избыток или недостаток на той или другой стороне. Единственной причиной животной теплоты и работоспособности животного является химический процесс, и именно — процесс окисления. Если Дюлонг и Дебре нашли, что производимая животным теплота приблизительно равна теплоте сгорания заключающегося в теле углерода и водорода, то это

26 МЫШЦЫ И ПРОИЗВОДСТВО МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ

произошло только потому, что теплоту сгорания этих веществ они приняли меньше ее действительной величины¹.

«Для того, чтобы иметь возможность превращать химическую силу в механический эффект, животные снабжены специальными органами, каких совершенно нет у растений. Таковыми являются *мышцы*. Для проявления деятельности мышцы необходимы два момента: 1) влияние двигательного нерва как условие и 2) обмен веществ как причина действия... Мышца является орудием, посредством которого достигается превращение силы, но она не является веществом, благодаря превращению которого получается действие... Поэтому длительная работоспособность мышцы пропорциональна не массе мышцы, а массе протекающей через нее крови... Происходящее повсюду в капиллярных сосудах тела окисление горючего материала порождает соответствующее количество теплоты. В этом отношении покоящаяся мышца ведет себя совершенно так же, как любая неподвижная часть тела; напротив, действующая мышца потребляет горючий материал для производства механических эффектов. При каждом действии мышцы теплота в самый момент своего возникновения становится «скрытой»... Убыль тепла во время работы была бы гораздо более заметна, и работоспособность произвольной мышцы была бы заключена в тесные пределы, если бы во время работы химический процесс как в данном месте, так и повсюду в теле не повышался... Когда организм производит механические эффекты, движения, связанные с дыханием и кровообращением, рефлекторно усиливаются; при всякой напряженной работе дыхание и биение сердца ускоряются и, понятно, тем сильнее, при одном и том же действии, чем слабее протекает в данном организме химический процесс во время покоя; действие, которое сильному человеку стоит лишь нескольких вдохов, у малокровных, хлоротичных, цианозных, цынготных субъектов может вызвать бурное усиление дыхания и кровообращения, приступы одышки и сердечные перебои».

При всем том (если желательно понять закон сохранения силы) *не следует смешивать усилия с действием*. Работа человека, поддерживающего с большим напряжением груз или стоящего неподвижно часами и т. п., равна нулю; то же самое или даже больше того может выполнить железный крюк. По-видимому, в подобных случаях утомление происходит вследствие продолжительного давления на нервные разветвления. Подобное утомление без работы не исключает и последующей работоспособности; так, ученый, простоявший вопреки правилам гигиены целый день до усталости перед своим пюпитром, совершает вечером для отдыха прогулку на соседнюю гору.

Показав, таким образом, что и в органическом мире силы никогда не создаются из ничего, что всякая работоспособность человека и

¹ Комичным представляется воззрение так называемых виталистов, которые, как, например, Рейх (*Reich, Lehrb. d. prakt. Heilkunde nach chemisch-rationellen (2) Grundlagen, Berlin 1842*), считают, что животная теплота является наследственным даром, которое передается новорожденному его родителями на жизненный его путь. „За эту светлую мысль мы пожелаем названным господам получить комнатную печь, которая постоянно одаряла бы их теплом, полученным ею от своего отца — доменной печи" („*Mechanik der Wärme*", стр. 67).

ИСТОЧНИКИ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОТЫ 27

животных возможна лишь благодаря превращению солнечной энергии, накопленной растениями, Майер развивает свою тему дальше и старается определить *источник энергии солнца*. В самом деле, если закон сохранения силы может иметь силу для всей вселенной, то и на солнце нельзя смотреть, как на замкнутый в самом себе источник энергии, и для него необходимо показать, какое место этот гигантский резервуар силы занимает в общем кругообороте сил природы. Разрешению этой задачи посвящена третья работа Майера, появившаяся три года спустя после второй (1848 г.) под заглавием «*Beiträge zur Dynamik des Himmels in populärer Darstellung*» («Динамика неба в популярном изложении») и изданная им за свой счет в Гейльбронне¹.

Эта работа начинается следующими словами: «Свет, как и звук, состоит из колебаний, которые от светящегося или звучащего тела распространяются в окружающей среде. Легко понять, что тело только тогда может сообщать окружающей его среде колебательное движение, когда оно само находится в таком же движении; ибо там, где тело находится в покое или в равновесии с окружающей средой, причины для волнообразного движения не существует. Для того чтобы колокол или струна издавали звук, необходимо, чтобы какая-нибудь внешняя сила ударила по колоколу или привела в колебание струну, и эта сила является причиной звука... Часто и удачно солнце сравнивали с непрерывно звучащим колоколом. Но что же поддерживает это небесное тело, столь величественно и чудесно наполняющее небесные пространства своими лучами, что поддерживает его в вечно неослабевающей силе и юности? Что предохраняет его от полного истощения, от наступления равновесия, дабы ночь и смертельный холод не заполнили пространства нашей планетной системы? Всеобщий закон природы, не допускающий никаких исключений, гласит, что для образования тепла необходима известная *затрата*. Эту затрату, как бы разнообразна она вообще ни была, всегда можно свести к двум главным категориям, а именно, она сводится либо к *химическому материалу*, либо к *механической работе*». Стало быть, источник солнечной теплоты следует искать в этих двух агентах и при разработке гипотезы об источнике следует выбирать между ними. Но для этого, прежде всего, необходимо определить, каково количество тепла, излучаемого солнцем за известный промежуток времени.

По Гершелю нагревательная сила солнца столь велика, что это тепло могло бы ежегодно растопить на поверхности земли слой льда в 29,2 м толщиной, а по более поздним измерениям Пуллье — толщина этого слоя льда составила бы 30,89 м. На основе последнего результата все тепловое излучение солнца в минуту определяется в 12 650 миллионов gross-калорий, где во избежание больших чисел одна gross-калория принята равной количеству тепла, нагревающему на 1° С одну кубическую милю воды, или же равной 408,54 биллионов калорий. Если бы при этом теплоемкость солнца была равна наибольшей из теплоемкостей, установленных нами для известных веществ, а именно, была равна теплоемкости воды, то, распределяя потерю тепла на всю

¹ Помещено в „*Mechanik der Wärme*“, стр. 155—242, Stuttgart 1874.

28 СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОТА И ПАДЕНИЕ

массу солнца, мы получили бы ежегодное охлаждение солнца на $1,8^{\circ}\text{C}$, а общее охлаждение его за историческое время (5000 лет) составило бы 9000° . Исходя из этого числа, которое, вообще говоря, благодаря неодинаково сильному охлаждению солнечной оболочки должно иметь неодинаковое действие, можно «с математической уверенностью судить о величине возмещения, соответствующего столь грандиозному расходу».

Однако процесс горения ни в коем случае не в состоянии возместить эту постоянную потерю тепла солнцем. Если допустить, что солнце представляет собою грудку каменного угля, каждый килограмм которого, сгорая, дает 6000 тепловых единиц, то сгорание солнца было бы в состоянии покрывать общий расход тепла только в течение 4600 лет. Вращение солнца около оси тоже не может служить источником его теплоты, так как для превращения этой механической силы в теплоту потребовалось бы участие другого тела, противодействующего вращению. Но если даже допустить существование такого тела, то весь эффект вращения тела солнца (считая плотность его равномерной и продолжительность его вращения равной 25 дням) составил бы 182 300 квинтиллионов килограммометров и покрыл бы тепловую потерю всего за 158 лет. Совершенно иначе представляется это дело, когда мы рассматриваем солнце не изолированно, а как некое звено вселенной. По нашей солнечной системе пробегают, кроме известных до настоящего времени планет с их 18 спутниками, множество комет, которых, по известному выражению Кеплера, в небесном пространстве имеется больше, чем рыб в океане; сюда следует еще прибавить астероиды, число которых, судя по наблюдаемым нами о земной атмосфере падающим звездам и огненным метеорам, переходит за всякие пределы. Если бы небесное пространство было совершенно пусто и не содержало в себе никакой материи, то все эти тела кружились бы вокруг солнца с неизменной регулярностью. Но это совершенно невозможно. Сокращение времени обращения кометы Энке заставляет определенно считать, что небесное пространство наполнено материей, оказывающей сопротивление движению. Литтров по этому поводу, в полном согласии с естествоиспытателями, говорит следующее: «Если бы в мировом пространстве даже и не было другой жидкой материи, кроме той, которая необходима для существования света (будет ли этот свет сам по себе материален, как это предполагает теория истечения, или же он состоит из колебаний всенаполняющего эфира, как это принимает волновая теория), то уже ее одной было бы достаточно для того, чтобы с течением времени совершенно изменить движения планет, а вместе с тем и расположение системы, и даже совершенно уничтожить современную ее структуру, так как конечным следствием существования подобной сопротивляющейся среды должно быть падение всех планет и комет на солнце». Таким образом, со всех сторон, медленно, но непрерывно, к солнцу должен притекать неизмеримый поток весомого вещества, и, сталкиваясь с солнцем, он должен превращать механическую силу своего движения в теплоту. Для оценки получающихся таким образом количеств тепла могут служить следующие соображения. Тяжелое тело, падающее из бесконечного расстояния на небесное тело,

НА СОЛНЦЕ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ 29

приобретает при этом максимальную скорость $\sqrt{2gr}^1$; для поверхности солнца эта величина G составляет 630 400 м; это число можно назвать характеристикой солнечной системы. Если же тяжелое тело падает не из бесконечной дали, а только с расстояния h , то оно упадет на

поверхность солнца со скоростью $c = G\sqrt{(h-r)/h}$, а возникающий отсюда тепловой эффект определяется в $0,00012^\circ \text{ c}^2$. Следовательно, астероидные массы, скорости которых при столкновении с солнцем колеблются в зависимости от расстояния между 445 750 и 630 400 м, могли бы при своем падении на солнце дать тепловой эффект от 24 до 48 миллионов градусов, т. е. в 4000—8000 раз больше, чем сгорание равной массы каменного угля.

Так как солнце излучает ежеминутно 12 650 миллионов gross-калорий или 5,17 квадриллионов тепловых единиц, то количество падающей в каждое мгновение на солнце материи должно было бы составить от 100 000 до 200 000 биллионов килограммов. С первого взгляда это число кажется невероятно большим, но оно тотчас же вводится в должные рамки, если принять в соображение, что луна с ее массой в 90 000 триллионов килограммов, упав на солнце, покрыла бы его тепловые потери за период от 1 года до 2 лет, а земля соответственно — за 50—100 лет. Необходимый для покрытия тепловых потерь солнца поток астероидов, падая на его поверхность, покрывал бы ежеминутно каждый квадратный метр последней массой вещества в 17—34 г. Проистекающее отсюда *увеличение диаметра солнца* стало бы заметным лишь по истечении 28 500—57 000 лет, достигнув тогда только величины одной дуговой секунды; но, с другой стороны, *период обращения земли*, а вместе с тем и продолжительность звездного года должны были бы сокращаться на более заметную величину от $7/8$ до $1/2$ сек. в год. Но так как подобное укорочение совершенно не наблюдается, то следует допустить существование на солнце постоянно чередующихся приливов и отливов, что наилучшим образом согласуется и с законом сохранения силы. В заключение Майер в пользу своей теории падения потока метеорных масс на солнце указывает, что это же явление служит, по-видимому, наиболее вероятной причиной происхождения *солнечных пятен и факелов* и что в соответствии с выводами, которые должны быть сделаны по вопросу о месте падения астероидов в силу общепринятых воззрений на нашу солнечную систему, солнечные пятна и факелы действительно наблюдаются только в зоне шириною в 30° по обе стороны от солнечного экватора².

¹ Если принять — а для больших пространств падения это необходимо, — что согласно закону Ньютона сила тяжести изменяется с расстоянием, то для скорости падения тела с высоты h на небесное тело с радиусом r и ускорением g поверхности получается следующая формула:

$$v^2 = 2gr(h-r)/h$$

² Майер останавливается *еще на одном* земном источнике силы, на приливе и отливе, который зависит не от солнечной теплоты, а от живой силы вращения земли. Майер указывает, что и эта сила, поскольку ей приходится преодо-

30 ОБ ОСВОБОЖДЕНИИ СИЛ

Рассмотренным только что сочинением заканчивается ряд основных работ Майера. Конечно, его тема далеко еще не была исчерпана во всех возможных направлениях, однако новые пути были уже почти повсюду проложены, и оставалось только пожинать плоды его трудов. После этого, т. е. после 1848 г., Майер собственно уже не дал ничего нового ¹. Ближайшею причиною того, что он лично дальше не использовал своих идей, были, конечно, постигшие его вскоре вслед за тем *тяжелые невзгоды*. Долгое время идеи его *не получали признания* и отсутствовали *стимулы* к дальнейшей работе. С этой точки зрения следует бесконечно пожалеть, что ни один из университетов, ни одна из академий и ни одно из правительств своевременно не закрепили Майера и его труд, пригласив на работу в той области, в которой он проявил столь огромную творческую деятельность.

Только в маленькой статье размером в восемь страниц, появившейся в 1876 г. ², Майер развивает дальше основную свою идею и притом в таком направлении, в каком до того никто не думал этого сделать и которое до сих пор едва ли понято и оценено по достоинству. Закон сохранения силы гласит, что все силы способны превращаться друг в друга в определенных отношениях; но он совершенно не говорит о том, что ни одно из этих превращений, ни одно из этих преобразований силы не происходит само собой. *Ни одна сила — и это столь же непреложно, как закон сохранения силы — не превращается сама собою: для всякого превращения одной формы силы в другую требуется внешняя причина.* Но при этом превращении силы ведут себя самым различным образом. Так, *живая сила* движения преобразуется при всяком препятствии, которое ей противопоставляется, которое противодействует движению. Но так называемые *притягивательные и отталкивательные силы* для своего действия и вместе с тем для превращения требуют, наоборот, устранения препятствия. Такое устранение препятствий, или освобождение силы напряжения от сдерживающих ее оков, Майер вообще обозначает словом освобождение (Auslösung); рассмотрению этих-то процессов, скорее бегло намечающему основы, чем детальному, и посвящена указанная выше статья. *Положение causa aequat effectum*, на кото-

левать сопротивления, должна постепенно с течением времени истощаться и что это сказывается в замедлении скорости вращательного движения земли, а также в изменении периода обращения луны. Первое он исчисляет в $\frac{1}{16}$ сек. за 2500 лет, а для второго он получает еще меньшую величину. Проф. А. Фик („Pogg. Ann.", CXXVI, стр. 660) указывает, что приоритет по отношению к последним идеям был неправильно приписан Майеру, так как уже Кант в 1754 г. высказал те же мысли в сочинении „Untersuchung der Frage, welche von der Königl. Akad. der Wissenschaften zu Berlin zum Preise für das jetzt laufende Jahr aufgegeben worden: ob die Erde eine Veränderung ihrer Achsenlänge erlitten hat?" (Kant's Werke, herausgegeben von Hartenstein, т. VIII).

¹ Популярная работа „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme", Heilbronn 1851 („Замечания о механическом эквиваленте теплоты", см. упомянутое выше изд. ГТТИ, 1934." стр. 225—282) очень четко формулирует новое понятие силы и более резко полемизирует против так называемого ньютоновского воззрения на силу, однако принципиально нового она ничего не содержит..

² „Die Toricelli'sche Lehre und über Auslösung" von J. R. Mayer, Stuttgart 1876; „Über Auslösung", стр. 8—16.

ОБ ОСВОБОЖДЕНИИ СИЛ 31

ром зиждется закон сохранения силы, перестает быть верным, когда выражения причина и действие мы переносим на случаи освобождения силы, так как в последних эти выражения применяются в совершенно другом смысле. Освобождающая сила не является причиной действия в примененном там смысле, но причиной перехода причины в действие. Эти освобождающие силы мы могли бы назвать причинами второго порядка, и к ним, конечно, можно было бы применить закон сохранения силы, если б можно было с полной уверенностью допустить, что та же самая небольшая освобождающая сила, которая превращает силу напряжения в движение, уже раньше однажды была затрачена в противоположном смысле при превращении живой силы движения в силу напряжения. Однако в рассмотрение этого последнего вопроса Майер не входит. Он только утверждает, что освобождающие силы представляют для закона сохранения силы известный предел, так как никогда нельзя установить отношения между величиною освобожденных сил и величиной необходимых для этого освобождающих сил, — чего, впрочем, не следовало бы утверждать с такой уверенностью. «Бесчисленные процессы освобождения имеют тот общий отличительный для них признак, — говорит он, — что при них уже нельзя измерять единицами; поэтому освобождение вообще уже не является предметом для применения математики. Область математики, как и вообще всякое царство, имеет свои естественные границы, а наша нынешняя область лежит как раз за пределами этих границ. Бесчисленное множество процессов освобождения ускользает от всякого расчета, так как качества нельзя определить численно подобно количествам»... Конечно, здесь Майер имеет в виду преимущественно освобождение движений и ощущений у животных и у людей. В пользу этого говорят и следующие соображения Майера, которые вместе с тем дают яркую картину смелого умственного творчества гениального врача и физика. «Вступая в мир животных существ, мы видим, что вся наша жизнь связана с непрерывным процессом освобождения силы.

Все явления движения, постоянно протекающие при жизни, основаны на освобождении... Произвольные движения происходят, как известно, вследствие сокращений поперечных мышечных волокон, но освобождение происходит вследствие воздействия свободных от ганглий двигательных нервов... Воля передается, правда, совершенно загадочным и непостижимым образом, двигательными нервами соответствующим мускулам, и таким путем тотчас же наступает освобождение, желательное действие. При этом я считаю необходимым обратить внимание на одно обстоятельство, представляющееся мне очень важным, которое, насколько я знаю, еще не привлекало ничьего внимания. Двигательные нервы имеют общий центр с ощущающими нервными корнями, снабженными ганглиями, *sensorium commune*, и все это устроено таким образом, что любое состояние освобождающего аппарата является решающим для общего самочувствия и общего состояния организма. Приятное ощущение здоровья указывает на нормальное, ничем не нарушенное, состояние аппарата освобождения, между тем как, наоборот, всякое расстройство последнего дает себя знать

32 БИОГРАФИЯ МАЙЕРА

при посредстве очень неприятных ощущений. Итак, в общем, имеет силу закон, что правильные физиологические освобождения, поскольку, конечно, они не переходят известных границ, вызывают в нас приятные ощущения. На этом именно и основано множество удовольствий, например: прогулки, пение, танцы, плавание, катанье на коньках и еще многое подобное... Источником приятного самочувствия и радости бывают не только внутренние физиологические освобождения; человеку доставляет удовольствие вызывать и внешние освобождения. Человек по своей природе так устроен, что он любит, применяя незначительные средства, достигать больших результатов. Удовольствие, испытываемое при стрельбе из огнестрельного оружия, свидетельствует об этом очень наглядно... Управление лошадью при езде верхом и в экипаже относится к тому же разряду явлений и т. д. Но если вызывание освобождений является неисчерпаемым источником дозволенных радостей и безобидных удовольствий, то следует, однако, отметить, что это же явление очень часто, к сожалению, приводит к безобразнейшим действиям и наказуемым преступлениям. В основе покушений, как общее правило, лежит, без сомнения, стремление добиться каких-нибудь значительных результатов, т. е. достичь возможно более сильных освобождений. Так именно обстоит дело с поджогами или страшными попытками вызвать гибель целых поездов с помощью каменных глыб, положенных на рельсы. Да если бы наша планета была создана таким образом, что каждый желающий мог бы ее взорвать, как какой-нибудь сосуд с динамитом, то, несомненно, всегда нашлись бы люди, готовые даже ценою собственной жизни добиться того, чтобы наша прекрасная земля взорвалась и разлетелась на куски в мировом пространстве».

Майер¹ охватил свою задачу настолько широко, насколько это было возможно. Он настолько выяснил, очистил и ограничил понятие о силе, что закон сохранения силы вытекал из него, как основная

¹ Julius Robert Mayer, родился 25 ноября 1814 г. в Гейльбронне, где его отец, после долгого пребывания в Швейцарии и в различных других странах, поселился в качестве аптекаря. Брат Роберта, старше его на много лет, взял на себя ведение аптеки, а он сам с 1832 г. стал изучать медицину в Тюбингене, а затем, оставив этот университет не без содействия академического совета, продолжал свои занятия в Мюнхене и Вене. По совету своего отца, желавшего, чтобы сын его повидал свет, Роберт по окончании медицинского образования поступил на службу в Голландии и отправился в качестве корабельного врача на о. Яву. Там, согласно собственным его словам, в 1840 г., изменение цвета венозной крови навело его на мысль, что в человеческом организме должна существовать прямая связь между потреблением вещества и образованием тепла. В 1812 г., в котором он опубликовал основы своих новых воззрений на силу, он приступил к устройству своего собственного домашнего очага. Но вскоре на его голову посыпались беды, достигшие своего апогея в форме продолжительного и, как говорят, не вполне добровольного пребывания в лечебнице для умалишенных. Этот период бедствий продолжался до конца пятидесятых годов, когда в ученом мире заслуги Майера получили признание и все близкие к нему убедились в его умственном здоровье и большом значении его работ. Еще в 1851 г. в „Архиве“ Фирордта появилась его маленькая статья „О деятельности сердца“, но затем наступил перерыв, продолжавшийся более 10 лет. В 1862 г. Майер снова возобновил свои исследования, поместив в „Archiv der Heilkunde“ Вундерлиха статью „О лихорадке“; но в течение этого длитель-

33 ОЦЕНКА ЗАСЛУГ МАЙЕРА

аксиома физики, которая, будучи достоверной сама по себе, не требовали уже дальнейших доказательств. Только для того, чтобы представить этот закон более наглядно, он сначала установил закон сохранения силы при переходе теплоты в механическую работу, а потом рассмотрел и другие встречающиеся в природе случаи превращения сил. Правда, по условиям своей жизни он не имел возможности производить собственных опытов и измерений, но зато он воспользовался, — и это мы должны определенно констатировать, — с большим искусством и знанием дела лучшими имевшимися в то время измерениями. Далее, ему первому на этом пути удалось установить отношение между теплотой и механической силой при их превращениях — с такой точностью, какая только тогда была возможна. Для остальных сил он этого, конечно, не сделал, за отсутствием соответствующих подготовительных работ и соответствующей системы мер. Он мог показать только качественно, что повсюду в природе всякому возникновению силы соответствует затрата силы; и в этом смысле он с большой полнотой и знанием дела вскрыл почти все источники сил в природе, — даже там, где они, несмотря на значительность порождаемых ими сил, казались скрытыми. Едва ли, впрочем, можно сомневаться в том, что работа Майера требовала дополнения, что закон сохранения силы должен был быть твердо установлен с количественной стороны для всех вообще воз-

ного перерыва развитие, а также применение основного закона сохранения силы и выросшего на его идеях нового учения о теплоте зашло так далеко, что у него уже не было сил, а может быть, и желания, продолжать активную научную работу в этой области. Все последующие работы Майера либо являются популярными изложениями, либо содержат в себе общие краткие указания на возможные дальнейшие обобщения или имеющиеся пробелы в воззрениях по вопросу о сохранении силы. В 1869 г., на собрании натуралистов в Инсбруке он прочитал доклад „Über die nothwendigen Consequenzen und Inconsequenzen der mechanischen Wärmetheorie" („О необходимых следствиях и непоследовательностях механической теории теплоты"), в котором он отмечает, что к духовному миру закон сохранения силы не применим в том же смысле, как к миру материальному; хотя все виды духовной деятельности и неразрывно связаны с молекулярными процессами в мозгу, но они с ними не совпадают полностью, все равно, как нельзя, например, рассматривать телеграфную депешу как простую функцию электрохимической деятельности, порождающей ток. В 1870 г., в Ульме, выступив с докладом „О землетрясениях", Майер остановился на теории Кордье, согласно которой землетрясения обуславливаются сжатием земной коры и ее давлением на внутренность планеты; защищая эту теорию, он выступил с новыми аргументами против старых возражений. В том же году он выступил в Гейльбронне с докладом на тему „О значении неизменяемых величин", а три года спустя „О переменных величинах". Лебединою песнью Майера были значительные и широкие по своему охвату работы „О торичеллиевой пустоте" и „Об Освобождении сил" (1876 г.); о последней работе было уже упомянуто выше. Он умер в марте 1878 г. в Гейльбронне от скоротечного воспаления легких. Его глубокую убежденную религиозность и идеальный взгляд на жизнь, устоявший вопреки жизненным невзгодам, лучше всего характеризуют заключительные слова одной из популярных лекций, прочитанных им в 1871 г.: „В новейшее время, как вы знаете, потребность в пище хотели возвести в принцип под названием „борьбы за существование" и благодаря этому пришли к совершенно односторонним выводам. Подобная „борьба за существование", конечно, существует; но не голод, не война и не ненависть поддерживают мир, его поддерживает любовь" („Mechanik der Wärme", стр. 396, Stuttgart 1874).

34 ОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛА ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ

возможных в природе случаев превращения силы, что раньше, чем этот закон мог быть признан непреложной физической истиной, следовало, в противоположность Майеру и дополняя его, привести доказательство этого закона, исходя из частных явлений и восходя затем к общему. Легко также понять, что этот последний путь должен был представляться физикам и более надежным и более понятным, чем первый путь. Этим именно вторым путем и пошел тотчас после появления первой работы Майера, но независимо от него, английский физик *Джеймс Прескотт* Джоуль. Его первая работа по этому вопросу, озаглавленная «*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity and the mechanical Value of Heat*» («О тепловом эффекте магнитоэлектричества и механическом значении теплоты»), была им доложена 21 августа 1843 г. физико-математической секции Британской ассоциации в Корке¹.

Занимаясь уже в течение довольно долгого времени исследованием процесса образования тепла при электрическом токе, Джоуль объяснял эту теплоту химическими превращениями, происходящими в батарее, и к той же причине сводил «скрытую» теплоту при электролизе воды². Поэтому, когда перед ним теперь встал вопрос, откуда берется теплота в соединительном проводе при прохождении через него магнитоэлектрического тока, — *возникает ли* она здесь впервые или же она только *переносится* из одной части прибора в другую, то под влиянием вышеупомянутых своих исследований он стал склоняться в сторону второго мнения, тем более что открытое в то время Пельтье явление образования холода при прохождении электрического тока говорило, по-видимому, тоже в пользу этого мнения. Для того чтобы разрешить вопрос, какая из этих двух возможных точек зрения является правильной, Джоуль поместил в стеклянный сосуд с водою небольшой электромагнит и, плотно закупорив этот сосуд, привел его в быстрое вращательное движение между полюсами сильного неподвижного электромагнита, соединенного с гальванической батареей. Для того чтобы иметь возможность определить интенсивности возникающих при этом индуцированных токов, концы соответствующих проводов были присоединены к очень чувствительному гальванометру. Вращение подвижного электромагнита производилось со скоростью 600 оборотов в минуту, причем попеременно четверть часа при замкнутой цепи тока и четверть часа — при разомкнутой. Так как и при последних условиях, обычно получалось некоторое количество теплоты, то Джоуль вычитал его из тепла, получавшегося в первом случае, и таким образом определял количество теплоты, действительно выделенной индуцированным электричеством. Сопоставление нижесле-

¹ Напечатано в „Philosophical Magazine“ (3), XXIII, стр. 263, 347, 435, 1843 г. переведено на немецкий язык Шпенгелем в его работе „Das mechanische Wärmeäquivalent“ стр. 1—40, Braunschweig 1872.

² „Philosophical Magazine“ (3), XIX, стр. 260, 1841: „On the Heat evolved Metallic Conductors of Electricity, and in the Cells of a Battery during Electrolysis“ „Memoirs of the Lit. and Phil. Soc. of Manchester“ (2), VII, стр. 87, 1846: „On the Heat evolved by Electrolysis of Water“ (доложено 24 янв. 1843 г.); напечатано в „Das mechanische Wärmeäquivalent“, Braunschweig 1872, стр. 41—55.

ДЖОУЛЬ ОПРЕДЕЛЯЕТ МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ ТЕПЛОТЫ 35

дующих средних результатов, полученных им из шести рядов опытов, позволило ему установить следующий названный по его имени закон:

№ ряда опы- тов	Магнито- электрические единицы тока	Квадраты чи- сел, пропор- циональных числам преды- дущего столб- ца	Корригиро- ванное коли- чество тепло- ты	№ ряда опы- тов	Магнито- электрические единицы тока	Квадраты чи- сел, пропор- циональных числам преды- дущего столб- ца	Корригиро- ванное коли- чество тепло- ты
1	0,177	0,062	0,08	4	1,019	2,060	2,11
2	0,902	1,614	1,56	5	0,236	0,109	0,10
3	0,418	0,346	0,36	6	0,340	0,229	0,21

Теплота, развиваемая благодаря действию магнитоэлектрических машин (ceteris paribus, т. е. при прочих равных условиях), пропорциональна квадрату силы тока.

Результаты этих опытов сделали совершенно невозможной идею о простом переносе тепла электрическим током. Кроме того, Джоуль заметил, что теплоту, развиваемую в цепи гальваническим током, он мог по желанию усиливать и ослаблять при помощи магнитоэлектрических токов; отсюда он сделал общее заключение, что теплоту можно *уничтожать* или *развивать* и с помощью механических сил, если только применить для этого магнитоэлектричество в качестве посредствующей силы.

При помощи машины Джоуля теперь было также очень легко определить, *в каком отношении механическая сила, приводящая во вращение электромагнит, превращается в теплоту*. Джоулю нужно было только непосредственное вращение электромагнита от руки заменить вращением при помощи падающего груза, чтобы таким образом прямо определить величину механической работы, необходимой для получения определенного количества теплоты. Таким именно путем он получил следующий средний результат:

«Количество тепла, которое в состоянии нагреть 1 фун. воды на 1 ° F, равно и может быть превращено в механическую силу, которая в состоянии поднять 838 фун. на вертикальную высоту в 1 фут»².

Этот вывод Джоуль сопровождает только двумя замечаниями: первое гласит, что лучшие паровые машины дают лишь десятую часть той работы, которую мог бы дать сжигаемый в них уголь, а второе, что, тем не менее, электромагнитные машины, приводимые в движение каком-либо из применяемых ныне батарей, никогда не могут превзойти паровых машин в экономическом отношении.

¹ „Das mechanische Wärmeäquivalent“, стр. 14, Braunschweig 1872.

² На наши единицы это составляет 460 ккал. Отдельные результаты, конечно, еще очень сильно отклонялись от среднего — настолько, что наибольший составил 1026 футофун., а наименьший — 587 футофун.

36 ПЕРВЫЕ МЫСЛИ ДЖОУЛЯ О СОХРАНЕНИИ СИЛЫ

В постскриптуме ¹ от августа 1843 г., помещенном в этой же работе, датированной июлем, он, зато идет гораздо дальше и вкратце развивает идеи, которые по своей смелости почти «приближаются к идеям Майера 1845 г. и убедительным образом свидетельствуют о *независимости хода мыслей Джоуля* от предшествующих работ Майера. В своих работах Джоуль видит ясное доказательство того, что теплота, выделяющаяся при сверлении пушечных стволов, приведшая Румфорда к его кинетической теории теплоты, возникает вследствие трения, а не вследствие уменьшения теплоемкости металла. Для того чтобы подкрепить эту мысль, он также привел в движение поршень с пробуравленными отверстиями в сосуде с водой и отсюда определил механический эквивалент равным 770 футофун. (423 кгм). В том же постскриптуме он обещает в ближайшем времени повторить и расширить свои опыты, будучи убежден, *«что могучие силы природы, созданные велением творца, неразрушимы и что во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точное эквивалентное количество теплоты»*. Он также утверждает, что *животная теплота* возникает вследствие химических превращений, происходящих в теле, и полагает, что при механической работе, например при вращении машины или при восхождении на гору, должно иметь место соответствующее уменьшение количеств тепла, образующегося в теле. Наконец,— и это является наиболее глубокой из его идей, — он утверждает, что *сила химического сродства определяется «падением атомов»*. Он исчисляет, например, что 8 фун. кислорода и 1 фун. водорода, взятые в газообразном состоянии, соединяясь со взрывом, способны нагреть 60 000 фун. воды на 1° F или поднять на высоту 1 фут. груз в 50 000 000 фун., и полагает, что те же вещества, будучи соединены в жидком состоянии, дали бы меньше тепла, *«так как при своем соединении атомы пробежали бы меньшие пути»*.

Дальнейшая очень интенсивная работа Джоуля была направлена; к тому, чтобы на самых разнообразных случаях превращения механической силы в теплоту индуктивно доказать постоянство отношения их превращения и определить величину последнего с максимальной возможной точностью. С этой целью он в 1845 г. опубликовал новую работу *«On the Changes of Temperatur produced by the Rarefaction and Condensation of Air»* ² («Об изменениях температуры, вызванных разрежением и сгущением воздуха»). Здесь описан следующий опыт: нагнетательный насос вместе с приемником был погружен в резервуар с водой; затем воздух в приемнике сжимался до 22 *at* и измерялась выделяющаяся при этом теплота. Эти опыты, интересные также с точки зрения экспериментальной техники, как по принятым здесь мерам предосторожности (для обеспечения постоянства температуры поступающего внутрь воздуха), так и по необходимым поправкам (на трение поршня и на теплоту, возникающую при перемешивании воды), дали для теплового эквивалента величину в 795 футо-

¹ „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 38, Braunschweig 1872.

² „Philosophical Magazine" (3), XXVI, стр. 369; „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 56, Braunschweig 1872.

ОПЫТЫ ДЖОУЛЯ НАД СЖАТИЕМ ВОЗДУХА 37

фун. (436 кгм). Из хорошего соответствия этого числа полученным раньше данным Джоуль снова сделал тот вывод, *что образовавшаяся теплота есть не что иное, как иная форма проявления механической силы, примененной при сжатии воздуха.*

Дальнейшие опыты только укрепили его в этом воззрении. Джоуль соединил два равных приемника трубкой и в одном из них воздух сжал до 22 ат, а из другого воздух выкачал. Когда затем он поместил оба приемника в сосуд с водой и сообщил между собой оба приемника так, что воздух мог свободно перейти из одного в другой, то температура воды *не изменилась*. Но когда приемники были помещены в отдельные сосуды с водою, то при перетекании воздуха в одном сосуде произошло охлаждение на $2^{\circ},36$, а в другом нагревание на $2^{\circ},38$ на каждый фунт воды. Далее, с целью точного измерения, приемник со сжатым воздухом был помещен в сосуд с водой и воздух из приемника выпускался через пневматическую ванну в другой сосуд, где количество поступающего воздуха могло быть легко измерено. Из различных рядов подобных опытов Джоуль получил механический эквивалент в 823, 795, 820, 814 и 760 футофун., причем среднее из трех последних чисел, или 798 футофун. (438 кгм), Джоуль признал наиболее надежным. Кроме того, эти результаты подтвердили важное открытие Дюлонга, который показал, что когда равные объемы газов, при равных температурах и одинаковых давлениях, внезапно сжимаются или расширяются на одну и ту же долю своего объема, то они выделяют или поглощают равные абсолютно количества теплоты. *Но приведенный выше опыт, при котором, несмотря на расширение воздуха до двойного его объема, не произошло никакого охлаждения, Джоуль рассматривает как вернейшее доказательство того, что теплоту следует считать не веществом, а движением составных частей тела.* Наряду с этими воззрениями на новую теорию теплоты, к которым мы еще вернемся, Джоуль снова высказывает свое твердое убеждение в абсолютной правильности закона сохранения силы. Он убежден, что теория Карно, допускающая получение механической работы за счет теплового тока, противоречит истине, так как она приводит к выводу, что при нецелесообразном устройстве паровых машин может иметь место уничтожение живой силы. Полагая, *«что мощью разрушать обладает лишь творец»*, он соглашается *«с Фарадеем и Роже в том, что всякая теория, приводящая в своих последствиях к возможности уничтожению сил, по необходимости не верна»*¹.

В 1845 г. в письме к издателям журнала «*Philosophical Magazine*» Джоуль опять описывает свои новые опыты². Приводя со вращение горизонтально помещенное в сосуде с водою колесо с черпаками, он из этого опыта исчислил механический эквивалент теплоты в 890 футофун. (489 кгм). Из тепла, которое развивает вода при протекании через узкие трубки, та же величина определилась

¹ „Das mechanische Wärmeäquivalent“, стр. 75.

² „Philosophical Magazine“ (3), XXVII, стр. 205—207; „Das mechanische Wärmeäquivalent“, стр. 77.

38 ГЛАВНАЯ РАБОТА ДЖОУЛЯ (1850 г.)

в 774 футофун. (424 кгм). Теперь Джоуль считал наиболее правильным числом 817 футофун. (448 кгм).

После того как в работе 1847 г.¹ он снова описал свои опыты с горизонтальным колесом, которые дали в среднем эквивалент в 781,8 футофун. (429 кгм), он в 1850 г. пришел к наиболее точным измерениям, а вместе с тем создал свою *главную работу*, в которой он сопоставил все полученные им до того времени результаты². Вслед за историческим введением он дает описание пяти рядов произведенных им опытов. В первом из них, наиболее обширном, опыты производились с плотно закупоривающимся медным цилиндром с водой, в котором вращалось медное колесо с черпаками. Во втором и третьем рядах опытов аналогичный цилиндр был чугунный, а жидкостью служила ртуть, колесо же было сделано из кованого железа. В обоих рядах этих опытов, с целью по возможности воспрепятствовать перемещению самой жидкости, на внутренней поверхности цилиндров были устроены радиально перегородки с прорезами для лопаток колеса. В четвертом и пятом рядах опытов теплота получалась в чугунном резервуаре со ртутью благодаря трению чугунного диска, укрепленного на подвижной оси, по такому же диску, укрепленному свинцовыми грузами. Результаты всех этих опытов, с поправками на все возможные возмущающие явления, были составлены Джоулем в следующей таблице:

№ ряда опы- тов	Применен- ный материал	Эквивалент в воздухе	Эквивалент в пустоте	Средняя величина
1	Вода	773,640	772,692	772,692
2	Ртуть	773,762	772,814	774,083
3	Ртуть	776,303	775,352	
4	Чугун	776,997	776,045	774,987 ³
5	Чугун	774,880	773,930	

Это сочинение, а вместе с тем и свои специальные исследования по вопросу о механическом эквиваленте тепла Джоуль заканчивает следующими словами: «В высшей степени вероятно, что эквивалент, полученный по чугуну, получился несколько выше потому, что при трении отрывались частицы металла и, следовательно, некоторая часть силы шла на преодоление сцепления. Но так как количество это было не настолько велико, чтобы его можно было по окончании опыта взвесить, то связанная с ним ошибка незначительна. По моему мнению, число 772,692, полученное из трения воды, является наи-

¹ „Philosophical Magazine" (3), XXXI, стр. 173, „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 81; „Pogg. Ann.", LXXIII, 479.

² „Phil. Trans.", стр. 61, 1850; „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 87; „Pogg. Ann.", дополнительный том IV, стр. 601.

³ „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 118.

ОПЫТЫ ДЖОУЛЯ НАД ТРЕНИЕМ 39

более точным как вследствие большого числа опытов, так и вследствие значительной теплоемкости аппарата. А так как даже при опытах с жидкостями невозможно устранить полностью ни сотрясений, ни хотя бы тихих звуков, то приведенное число, вероятно, еще несколько велико. Поэтому я прихожу к заключению, что на основании приведенных в настоящей работе опытов можно считать доказанным: 1) что теплота, развивающаяся при трении тел, будь то тела твердые или жидкие, всегда пропорциональна примененной силе и 2) что для получения количества тепла, которое в состоянии нагреть 1 фун. воды (взвешенного в пустоте и между 55° и 60° F) на 1° F, необходимо употребить механическую силу, которая может быть представлена падением 772 фун. с высоты 1 фут.» (424 кгм для 1° C) ¹. В работах Джоуля эквивалентность теплоты и механической работы стоит на первом плане; наибольшие усилия его направлены к тому, чтобы доказать эту эквивалентность и дать возможно более точное количественное определение этого отношения. Теория теплоты как движения стоит у него уже на втором плане, а общая проблема, закон сохранения силы, — на последнем. Это не значит, что Джоуль был меньше уверен в правильности этого закона, чем Майер, или что он представлял его себе в менее общем виде, чем последний; но его как экспериментатора меньше интересовала принципиальная сторона этого закона, его философское обоснование, равно как вопрос о его всеобщей применимости ко всем явлениям природы. В этом отношении Джоуль представляет собою прямую противоположность Майеру. В то время как последний обращается прежде всего, к вопросу о принципиальной возможности закона и дедуктивно обосновывает применимость его ко всем явлениям природы, пользуясь

¹ Позднее Джоуль еще раз вернулся к своим измерениям. Комитет британского общества натуралистов высказал пожелание, чтобы при установлении основной меры для электрического сопротивления было вновь произведено определение механического эквивалента теплоты из наблюдения над теплотой, развивающейся в цепи электрического тока, — с тем, чтобы при этом исследовании была применена предложенная комитетом абсолютная единица сопротивления. Джоуль произвел эти измерения, причем получил для механического эквивалента теплоты значение 782,5 футофун. („Rep. of the Brit. Ass.", Dundee; стр. 522, 1867). Ввиду расхождения этого результата с ранее полученными значениями собрание упомянутого общества в 1870 г. выделило специальный новый комитет для проведения этих измерений, в состав которого вошли У. Томсон, Р. Тэт, Клерк Максвелл, В. Стюарт и Джоуль. Эти опыты были произведены последним на средства комитета по прежнему более прямому способу, причем механический эквивалент теплоты определился в 772,43 футофун. (соответственно количеству тепла, которое в состоянии нагреть фунт воды, взвешенной в пустоте от 60° до 61° F) („Phil. Trans.", стр. 365, 1878). У. Томсон отмечает по этому поводу („Heat", стр. 35, Edinburgh 1880): „На основании измерений теплоемкости воды, произведенных Реньо при различных температурах от 0° до 230° C. Эта величина при 60° F должна быть приблизительно на 0,08% выше, чем при 32° F. Поэтому термодинамический результат Джоуля для работы нагревания 1 фун. воды от 32 до 33° F должен был бы быть равным 771,81 футофун. В Париже тяжесть приблизительно на 4% ниже, чем в Манчестере. В силу этого для средней Франции и для юга Германии этот результат Джоуля следует принять равным 423,5 кгм (соответственно количеству тепла, которое может нагреть 1 кг воды от 0° до 1° C)".

40 ДЖОУЛЬ И МАЙЕР

эмпирическими определениями только для иллюстрации, — поскольку это позволял имеющийся наличный материал наблюдения, — Джоуль старается доказать этот закон путем самых тщательных опытных определений для двух наиболее распространенных в природе сил — для тепла и механической работы, — и найденный им здесь закон он распространяет на прочие явления природы лишь мимоходом, как нечто само собою разумеющееся. Таким образом, оба они, натурфилософ и эмпирик, идут к одной и той же цели, независимо друг от друга, каждый не вполне односторонне, т. е. не упуская вполне из виду и противоположной стороны, и отличаясь друг от друга лишь тем, что у одного из них преобладает дедукция, а у другого индукция. Поэтому и спор о том, кого из них обоих следует считать настоящим, бо'льшим творцом закона, не имеет смысла и сводится, в конце концов, не к оценке обеих гениальных личностей, а к сравнению двух методов физики — натурфилософского и экспериментального, — сравнению, которое, если даже отвлечься от одностороннего интереса арбитров, ни к чему привести не может, так как эти методы как несоизмеримые величины, покоящиеся на совершенно различных единицах измерения, не поддаются сравнению¹.

Если сказать, что введение в физику такого основного и всеобщего закона, как закон сохранения силы, потребовало совместного усилия всех трех методов физики — умозрения, опыта и математического анализа, — то это может показаться произвольным утверждением, сделанным в угоду предвзятой схеме; а между тем, так оно и было в действительности.

Наряду с Майером, обосновавшим этот закон с точки зрения теории познания, и Джоулем, доказавшим его чисто опытным путем, потребовалась еще работа математика со свойственными ему приемами исследования. Основание такому изучению закона с математической точки зрения, правда, незавершенному еще и

¹ James Prescott Joule родился 24 декабря 1818 г. в Сальфорде близ Манчестера; был владельцем большого пивоваренного завода. С ранних лет занимался электромагнитными исследованиями и устройством приборов, которые, начиная с 1838 г., он описывал в журнале „Sturgeon's Annals of Electricity". Эти занятия навели его на проблему об отношении между силами, вызывающими электричество, и теплотой, развиваемой ими в цепи тока. Проведенные им измерения механического эквивалента теплоты при посредстве наблюдений над разрежением и сжатием газов привели его к исследованию *внутренней работы газов*. Последние дали для воздуха и для так называемых постоянных газов столь ничтожные величины внутренней работы по сравнению с внешней, что величины механического эквивалента теплоты, выведенные из изменения состояния подобных газов, можно было считать вполне точными и для постоянных газов внутреннюю работу можно было признать равной нулю. Впоследствии Джоуль совместно с У. Томсоном исследовали отклонения газов от этого идеального состояния и работы свои опубликовали в ряде статей, очень важных для теории теплоты („Phil. Trans.", стр. 357, 1853; там же, стр. 321, 1854; там же, стр. 579, 1862). Джоуль вообще всегда очень скуп на изложение своих общих теоретических соображений; но об их гениальности свидетельствуют его приемы, постановка и проведение его экспериментальных исследований. Во всяком случае, правильнее будет приписать кажущуюся односторонность Джоуля как физика-экспериментатора скорее его способу изложения, чем его идеям.

БИОГРАФИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА 41

до сих пор, положил Г. Гельмгольц в 1847 г. своей работой «Über die Erhaltung der Kraft» («О сохранении силы») ¹.

Работа эта, по самой природе вещей, стоит ближе к исследованиям Майера, чем к работам Джоуля. Натурфилософия и математика как дедуктивные науки исходят из общих принципов и стараются охватить ими все случаи, тогда как эмпирик, имея в виду лишь начало пути, может и не думать о том, что лежит в его конце. Гельмгольц подходит к вопросу с физико-математической точки зрения правильно, рассматривая закон сохранения силы как гипотезу, допустимую с точки зрения природы нашей познавательной способности; затем он отсюда математически выводит частные количественные законы действия для всех отдельных явлений природы и далее смотрит, насколько отдельные силы природы удовлетворяют выведенным законам или насколько опыты им противоречат, одним словом, — в какой мере основное начало подтверждается опытом.

Основное положение, что для каждого изменения в природе должна существовать достаточная причина, побуждает нас, — говорит Гельмгольц, — искать неизвестные причины процессов в видимых проявлениях последних. «Ближайшие причины, которые мы кладем в основание явлений природы, сами по себе могут быть неизменными или же изменчивыми; в последнем случае то же основное положение побуждает нас опять-таки искать причины этой изменчивости. Продолжая таким образом, мы доходим, наконец, до *последних причин*, которые действуют по *неизменному* закону, т. е. которые во всякое время, при одних и тех же внешних отношениях, вызывают одно и то же действие. Таким образом, конечной целью теоретических наук о природе должно быть открытие *последних неизменных причин явлений природы*». Если, согласно сказанному, представить себе мир разложенным на элементы с неизменными силами (неизменными качествами), то *«единственно еще возможными изменениями в такой системе будут изменения пространственные, т. е. движения; а внешними отношениями, под влиянием которых видоизменяется действие сил, могут быть также только пространственные; следовательно, силами будут только силы движения, зависящие в своем действии только от пространственных отношений»*. «Но сила, действующая между

¹ Доложена в заседании Физического общества в Берлине 23 июля 1847 г.; отдельной книгой вышла у G. Reimer, Берлин 1847, повторно напечатана в „Wissenschaftliche Abhandlungen" Гельмгольца, 1, стр. 12—75, Leipzig 1882. Следует также обратить внимание на собственный реферат Гельмгольца в журнале „Die „Fortschritte der Physik", издающемся Берлинским физическим обществом, т. III, 1847, стр. 232—245.

Hermann Ludwig Ferdinand v. Helmholtz, сын учителя гимназии, род. в Потсдаме 31 августа 1821 г., умер в 1894 г. С 1838 г. изучал медицину в Берлине; в 1842 г. был ординатором в Charité; в 1843 г. военным врачом в Потсдаме; в 1848 г. преподавателем анатомии в Берлинской академии художеств; в 1849 г. профессором физиологии в Кенигсберге; в 1855 г. — в Бонне; в 1858 г. в Гейдельберге; в 1871 г. профессором физики в Берлине. В последнее время состоял директором Физико-технического института в Берлине. Его труды, рассеянные в журналах, собраны в „Wissenschaftliche Abhandlungen", 2 тома, Leipzig 1882—1883; популярные его статьи собраны в издании „Vorträge und Reden", 3 изд., 2 т. Braunschweig 1884.

42 ЖИВАЯ СИЛА И СИЛА НАПРЯЖЕНИЯ

двумя целыми массами, должна быть разложена на силы, действующие между всеми их частями; поэтому механика обращается к силам материальных точек, т. е. точек пространства, заполненного материей. Но между точками нет иных взаимных пространственных отношений, кроме их расстояния, так как направление соединяющей их линии может быть определено не иначе, как в отношении, по крайней мере, к еще двум другим точкам. Поэтому сила движения между двумя точками может быть также только причиной изменения их взаимного расстояния, т. е. быть силой притяжения или отталкивания. Это следует также прямо из закона достаточного основания. Силы, действующие между двумя массами, необходимо должны быть определены по своей величине и направлению, как только положение масс полностью дано. Но две точки определяют вполне только одно направление, а именно — направление соединяющей их линии; следовательно, силы, действующие между точками, должны быть направлены по этой прямой и их интенсивность должна зависеть только от расстояния. *Таким образом, окончательно задача физических наук о природе заключается в том, чтобы явления природы свести к неизменным притягательным и отталкивательным силам, величина которых зависит от расстояния».*

Неизменяемость этих сил, равно как и самые силы, может быть познана только путем построения гипотез, а не непосредственно: о ней можно судить только по действиям сил. Последние бывают двух родов. Силы притяжения и отталкивания, действуя между элементами, могут либо действительно приводить последние в движение, развивая, таким образом, некоторую «живую силу», либо они создают между элементами только известное *напряжение*. Живая сила элемента измеряется mv^2 , или, еще лучше, как предлагает Гельмгольц, $\frac{1}{2}mv^2$. Сумма же всех сил напряжения, действующих на данном участке, может быть выражена величиною площади кривой напряжения. Эта кривая получается, если величины сил, действующих в отдельных точках отрезка, отложить в качестве ординат на этом отрезке; тогда сумма сил напряжения будет равна

$$\int_r^R \varphi \, dr,$$

где φ обозначает интенсивность силы в каждой точке, а R и r расстояния начальной и конечной точек отрезка от некоторой неподвижной точки. Для системы материальных точек, подверженных действию только таких сил, в направлении которых лежат линии соединения точек, и интенсивность которых зависит только от взаимного расстояния последних, Гельмгольц легко приходит к следующему уравнению:

$$-\sum \left[\int_{r_{ab}}^{R_{ab}} \varphi_{ab} \, dr_{ab} \right] = \sum \left[\frac{1}{2} m_a V_a^2 \right] - \sum \left[\frac{1}{2} m_a v_a^2 \right],$$

выражающему принцип сохранения силы в самом общем виде. В словесной форме последний формулируется следующим образом: «Во всех случаях движения свободных материальных точек под влиянием их притягательных и отталкивательных сил, интенсивность которых за-

ФОРМУЛА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ СИЛЫ 43

висит только от расстояния, потеря в количестве силы напряжения всегда равна приращению живой силы, а приращение первой — потере второй. Следовательно, сумма всех живых сил и сил напряжения является всегда величиной постоянной».

Результаты своих исследований Гельмгольц резюмирует в следующих положениях: «1) Всякий раз, когда тела природы действуют друг на друга под влиянием их притягательных или отталкивательных сил, не зависящих ни от времени, ни от скоростей, сумма сил напряжения и живых сил в системе должна оставаться постоянной, и, следовательно, максимум работы, которая может быть получена, является величиной определенной, конечной. 2) Если же между телами действуют силы, зависящие от скоростей и времени или действующие по направлениям, не совпадающим с прямыми, соединяющими попарно деятельные материальные точки — например, силы вращательные, то возможны такие сочетания этих тел, при которых сила либо теряется, либо выигрывается до бесконечности. 3) При равновесии системы тел под действием центральных сил внутренние и внешние силы должны взаимно уравниваться, если только мы примем, что тела системы связаны между собою неподвижно и что только вся система в целом может перемещаться относительно вне ее лежащих тел. Следовательно, твердая система подобных тел никогда не может быть приведена в движение под действием внутренних сил, а только под влиянием внешних сил. Если бы, значит, существовали другие силы, кроме центральных, то можно было бы создавать такие прочные соединения тел природы, которые двигались бы сами собою, не нуждаясь в какой-либо связи с другими телами».

Эти общие положения о природе сил, удовлетворяющих принципу сохранения силы, принадлежат к наиболее спорным во всей этой области. Из убеждений о невозможности *perpetuum mobile* (вечного двигателя), доказанного индуктивно опытным путем или выведенного дедуктивно из условий нашего познания, с необходимостью вытекает обязательность принципа сохранения силы для всех явлений природы¹. Тем самым вышеприведенные положения признают невозможность существования в природе каких-либо иных сил, кроме живых или центральных. Но вот еще за год до появления данной работы Гельмгольца В. Вебер пришел к выводу, что силы, с которыми действуют друг на друга движущиеся частицы электричества, зависят не только от их

¹ В сочинении 1847 г. Гельмгольц утверждает невозможность *perpetuum mobile*, не исследуя, на чем основано это допущение („Erhaltung der Kraft", стр. 7 и 8). В 1882 г., в особом прибавлении к этой работе, он характеризует вышеуказанную невозможность как *чисто опытный факт*: „невозможность построения какого бы то ни было *perpetuum mobile*, т. е. получения без конца движущей силы без соответствующей затраты была, постепенно обретенной индукцией, вытекшей из многих тщетных попыток его осуществления. Французская академия уже давно отнесла *perpetuum mobile* к той же категории, что и квадратуру круга, постановив не принимать к рассмотрению мнимых решений этой проблемы. Это следует рассматривать как выражение убеждения, широко распространенного между специалистами" („Wissenschaftl. Abhandlungen", I, стр. 73—74). Впрочем, по нашему мнению, широко распространенное в среде физиков убеждение не является еще достаточной основой для естественного закона.

44 РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАКОНА НА СТЕРЖНЕВЫЕ СИЛЫ

взаимных расстояний, но также от их скоростей и даже от их ускорений ¹. Следовательно, по Гельмгольцу такие электродинамические силы не должны были бы подпадать под действие закона сохранения силы и допускали бы такие сочетания, при которых возможны как потеря, так и выигрыш силы до бесконечности. Но вскоре затем Вебер показал ², что и принятые им силы имеют потенциал, представляют, следовательно, во всех случаях определенное количество работы и удовлетворяют, таким образом, принципу сохранения силы. Позднее и Клаузиус, подобно Веберу, принял зависимость электродинамических сил от скорости и тем самым тоже перешел через границы, проведенные Гельмгольцем. Наконец, в новейшее время Вейраух пришел к выводу, что и в теории упругости твердых тел одного допущения центральных сил недостаточно для объяснения явлений. Подобные силы, действующие между двумя частицами массы по прямой, соединяющей последние, но зависящие не только от расстояния между частицами, но также и от их движения, он называет *стержневыми*. Исследование этих сил приводит его к положению, что и к ним применим закон сохранения энергии, если только работа действующих сил в определенный момент вообще выражается полным дифференциалом, хотя бы это не был полный дифференциал чистой функции координат, т. е. если Sdl (где S обозначает действующие стержневые силы, l — расстояние между частицами масс) есть вообще полный дифференциал какой-либо функции ³. Позднее, в прибавлениях к своей работе, Гельмгольц определенно отмечает, что данное им доказательство принципа сохранения силы, ограничивавшее его применимость одними центральными силами, было слишком узко и что, следовательно, второе из вышеприведенных его положений было сформулировано слишком широко. Вот его собственные слова по поводу этого положения ⁴: «Это положение сформулировано тоже слишком широко, так как мы вынуждены ограничить предшествующие общие положения случаями, для которых имеет место равенство действия и противодействия. Но если мы последнее отбросим, то установленный недавно Клаузиусом основной электродинамический закон представляет собою случай, когда силы, зависящие от скоростей и ускорений, все-таки не могут порождать движущих сил до бесконечности».

Вслед за общим рассмотрением принципа сохранения силы Гельмгольц обращается к специальным применениям и вместе с тем к проверке этого закона на частных случаях. Этот закон был признан и применялся уже давно во всех проблемах механики, при которых не приходилось считаться с трением или ударом неупругих тел. Но всякий раз, когда механические движения уничтожаются вследствие удара или

¹ W. Weber, Elektrodynamische Maassbestimmungen; Abhandl. der K. S. Ges. d. Wlssensch. zu Leipzig, 1, 1846. См. дальше отдел об электричестве в настоящей книге.

² „Pogg. Ann.“, LXXIII, стр. 193, 1848.

³ Jacob J. Weirauch (профессор Политехнической школы в Штутгарте), Theorie elastischer Körper, стр. 132 и 180, Leipzig 1884; Das Princip von der Erhaltung der Energie; стр. 13 и 31, Leipzig 1885.

⁴ Helmholtz, Wiss. Abhandlungen, I, стр. 70—71, Leipzig 1882.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА В ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ 45

трения, когда световые и тепловые лучи уничтожаются вследствие поглощения, — происходит повышение температуры, иногда же возникает электрическое напряжение, а при поглощении света нередко также фосфоресценция или химическое действие¹. Если оставить в стороне последние явления, так как в них пока еще слишком много темного, то возникает вопрос, каким образом *возникшая теплота* может быть рассматриваема как эквивалент *исчезнувшей силы*. Если бы теплота была веществом, то эквивалентом силы могла бы быть только работа, производимая теплотой при ее переходе от более высокой температуры к более низкой. Карно и Клапейрон разрабатывали данную проблему именно в этом духе и нашли, что все выводы из такой эквивалентности оправдываются, по крайней мере, для газов и паров. *Но материальная теория теплоты неприемлема*; из опытов над теплотой от трения, равно как из опытов получения и уничтожения теплоты действием электрического тока, необходимо следует, что теплота представляет собою не вещество, а движение. В силу этого известное количество свободной теплоты должно представляться нам как некоторое количество живой силы этого движения, а количество так называемой скрытой теплоты как величина того молекулярного напряжения, которое при изменении состояния тел может вызвать тепловые движения. «Для фактического доказательства положения, что определенной величине механической силы всегда соответствует определенное количество тепла, мы имеем пока лишь несовершенные опыты Джоуля²; впрочем, с этим законом согласуются также исследования и исчисления Гольцмана. *При получении тепла путем химического действия закон сохранения силы должен совпасть с законом Гесса* («Pogg. Ann.» L, стр. 392 и LVI, стр. 598), согласно которому при химическом соединении нескольких веществ в один и тот же продукт всегда получается одинаковое количество тепла, в каком бы порядке и через какие бы промежуточные ступени ни проходил акт соединения.

Наиболее плодотворным оказывается этот принцип в применении к учению об электричестве и магнетизме. Если m_1 и m_2 представляют собою два элемента электрических или магнитных масс, то сила их

¹ При отражении, преломлении, поляризации и интерференции света не происходит никакого уничтожения живой силы, изменяется только ее распределение. Живая сила упругих волн уничтожается лишь в тех процессах, которые мы называем поглощением. Поглощение звуковых волн мы можем, по-видимому, рассматривать, главным образом, как переход звукового движения в тела и уничтожение его здесь трением. Поглощение тепловых лучей сопровождается пропорциональным развитием теплоты в теле. При поглощении света мы знаем процессы трех родов. Во-первых, фосфоресцирующие тела воспринимают свет таким образом, что потом излучают его обратно в виде опять-таки света. Во-вторых, большинство, а может быть, и все световые лучи вызывают теплоту. В-третьих, во многих случаях поглощенный свет вызывает химические действия („Erhaltung der Kraft", стр. 23—25).

² Это место заимствовано из собственного реферата Гельмгольца о его работе. Подобную же оценку в позднейшем издании 1881 г. Гельмголец сопровождает следующим примечанием: „Это суждение относится к наиболее ранним, ставшим тогда известными опытам Джоуля. Позднейшие же его опыты, проведенные с полнейшим знанием дела и железной энергией, заслуживают величайшего удивления" („Wissenschaftl. Abhandlungen", I, стр. 33. Leipzig 1882).

46 ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ОТ ТРЕНИЯ

притяжения $\varphi = -\frac{m_1 m_2}{r^2}$, а выигрыш живой силы, при уменьшении их расстояния от ∞ до r , в предположении, что их электрическое или магнитное состояние в остальном

не изменяется, равен $\int_r^\infty \varphi dr = -\frac{m_1 m_2}{r}$.

Если вместе с Гауссом назвать величину $-m_1 m_2 / r$ потенциалом, то приращение живой силы при каком-либо движении следует считать равным превышению потенциала в конце пути над потенциалом в начале его. Если же при этом изменяется и электрическое состояние частичек, то следует еще сверх того принять во внимание потенциалы обоих тел по отношению к самим себе. Если мы обозначим эти потенциалы соответственно через W_1 и W_2 , а потенциал этих тел друг по отношению к другу через V , то легко доказать, что прирост живой силы должен быть равен сумме

$$V + \frac{1}{2}(W_1 + W_2).$$

Обозначим, далее, через C_1 свободное напряжение положительного электричества, имеющегося на каком-либо проводнике в количестве Q , через C_2 — напряжение равного количества отрицательного электричества на другом проводнике, тогда количество сил напряжения, вызванных электризацией проводников, будет равно $Q(C_1 - C_2)/2$, если в качестве меры свободного напряжения принять то напряжение, которое вызывается единицей электричества на шаре с радиусом, равным единице. При разряде электричества эта сила напряжения уничтожается, вследствие чего в соединительном проводе выделяется теплота;

$$\theta = \frac{1}{2a} Q (C_1 - C_2),$$

количество этой теплоты должно быть равно

где a обозначает механический эквивалент теплоты. Если этот закон применить к лейденской банке, внешняя обкладка которой не изолирована и емкость которой можно положить равной S , то $C_2 = 0$ и

$Q = CS$; тогда $\theta = \frac{1}{2a} QC$ или $\theta = \frac{1}{2a} \frac{Q^2}{S}$. Эти выводы подтверждаются измерениями Рисса («Pogg. Ann.», XLIII, стр. 47), который нашел, что образующаяся теплота пропорциональна Q^2/S ¹, равно как и опытами Форсельман-де-Геера («Pogg. Ann.», XLVIII, стр. 292) и Кнохенгауера («Pogg. Ann.», LXII, стр. 364 и LIV, стр. 64), которые нашли, что теплота не зависит от соединительного провода.

Вольтовское понятие о контактном электричестве находится в противоречии с принципом сохранения силы, поскольку это понятие не включает в себе необходимости химических процессов. Но если допустить это последнее, если принять, что проводники второго класса не входят в гальванический ряд напряжения лишь потому, что они

¹ Рисс, правда, обозначает через S поверхность обкладки банки, но у равномерно сконструированных банок эта поверхность, конечно, пропорциональна емкости.

КОНТАКТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО 47

проводят электричество только путем электролиза, то понятие контактной силы тотчас же существенно упрощается и сводится к силам притяжения и отталкивания. В самом деле, все явления на проводниках первого класса могут быть легко выведены из допущения, что различные химические вещества имеют различные силы притяжения по отношению к обоим электричествам и что эти притягательные силы действуют лишь на неизмеримо малых расстояниях, между тем как электричества действуют друг на друга и на больших расстояниях. Тогда контактная сила заключалась бы в разности силы притяжения, которое проявляют частицы металла, вплотную прилегающие к месту соприкосновения, по отношению к электричествам, а электрическое равновесие наступало бы, когда электрическая частица при своем переходе от одного металла к другому не выигрывает и не теряет в живой силе.

При применении закона сохранения силы к *гальваническому току* следует рассматривать, главным образом, следующие действия: *выделение теплоты, химические процессы и поляризацию*. В *цепях тока без поляризации*, если принцип сохранения силы должен иметь здесь применение, электродвижущая сила двух сочетаемых металлов должна быть пропорциональна разности количеств теплот, которые должны образоваться при их сгорании; поэтому в таких цепях, в которых химические процессы одинаковы, и электродвижущие силы должны быть тоже равны, с чем очень хорошо согласуются некоторые измерения Поггендорфа («Pogg. Ann.», LIV, стр. 429 и LVII, стр. 104). *Цепи с поляризацией* следует разделить на такие цепи, которые дают *одну только поляризацию без химического разложения*, и на цепи, в которых имеют место и *то и другое*. Ток последних можно рассматривать как состоящий из *непостоянного, или поляризационного, тока и постоянного тока, или тока разложения*. К последнему применимы все соображения, изложенные по отношению к постоянным токам без выделения газов. Вследствие *поляризации теряется часть силы первоначального тока, но эта потеря должна быть получена обратно в виде вторичного тока*. При *термоэлектрических токах* закон сохранения силы может иметь место лишь при условии, если теплота, развиваемая током, по закону Ленца, во всей цепи, и теплота, развиваемая, согласно опытам Пельтье, в более холодном спае, равны количеству тепла, поглощаемого в нагретом спае. Из этих допущений может быть затем выведен закон электротермических действий, для которого, однако, до сих пор еще не имеется проверочных опытов.

Так как *магнитные явления*, подобно электрическим, объясняются допущением двух жидкостей, которые отталкиваются в обратном отношении к квадратам расстояний, «то уже на основании сказанного в начале нашего исследования следует, что *при движении магнитных тел друг по отношению к другу* (как при движении наэлектризованных тел) сохранение силы должно иметь место». В частности Гельмгольц доказывает, что, как и в электричестве, приращение живой силы при движении магнитных тел с изменяющимся распределением магнетизма измеряется изменением суммы $V + \frac{1}{2}(W_a + W_b)$. Когда *магнит движется под влиянием тока*, то приобретаемая им при этом *живая сила* должна возникать за счет *сил напряжения, расходуемых током*.

48 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

«Последние за частицу времени dt составляют, по принятому нами выше способу обозначения, величину $AJdt$ в тепловых единицах, или $aAJdt$ в механических, если a — механический эквивалент теплоты. Живая хила, развивающаяся в цепи тока, есть aJ^2Wdt ,

а приобретенная магнитом $J \frac{dV}{dt}$, где V — потенциал магнита по отношению к проводнику, по которому пробегает единица тока. Таким образом

$$aAJdt = aJ^2Wdt + J \frac{dV}{dt} dt;$$

следовательно,

$$J = \frac{A - \frac{1}{a} \frac{dV}{dt}}{W}.$$

$$\left(\frac{1}{a}\right) \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)$$

Величину $\left(\frac{1}{a}\right) \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)$ можно рассматривать как новую электродвижущую силу, а именно — электродвижущую силу индукционного тока. Она действует всегда обратно той силе, которая двигала бы магнит в направлении, которое он имеет, или увеличивала бы его скорость. Так как эта сила не зависит от силы тока, то она остается такою же и в том случае, когда перед движением магнита тока вовсе не было». Согласно сказанному закон индукции может быть выражен следующим образом: «Вся электродвижущая сила индукционного тока, вызываемого перемещением магнита относительно замкнутого проводника тока, равна происходящему при этом изменению потенциала магнита относительно проводника, по которому мыслится проходящим ток $1/a$.

Единицей электродвижущей силы является тогда такая сила, которая вызывает произвольную единицу тока в единице сопротивления. Последней же является такое сопротивление, в котором принятая единица тока выделяет в единицу времени единицу тепла. Этот же закон встречается и у *Неймана*, но только последний вместо $1/a$ берет неопределенную постоянную ε . Гельмгольц доказывает правильность этого закона для всех случаев индукции, за исключением тех, когда индукция вызывается *изменением силы тока*, так как здесь вследствие невыясненности еще формы нарастания тока трудно прийти к каким-либо заключениям.

Указав, наконец, в очень коротких словах на *химические лучи солнечного света как на единственный источник сил растений и животных* и правильно отбросив как неверное утверждение Маттеуччи, будто цинк, растворяясь в серной кислоте, дает одно и то же количество тепла, как при непосредственном его растворении, так и в том случае, когда он вместе с платиной образует гальванический элемент ¹, Гельмгольц заключает свою работу следующими замечательными словами: «Изложенным выше, полагаю, мне удалось доказать, что рассматриваемый закон не противоречит ни одному известному явлению в области естествознания, а многими из них он весьма наглядно подтверждается. Я постарался возможно полнее изложить те последствия,

¹ „Archives des scienc. phys. et nat.“, IV, стр. 375, 1847.

МАЙЕР, ДЖОУЛЬ И ГЕЛЬМГОЛЬЦ 49

которые вытекают из сочетания этого закона с известными до сих пор законами естественных явлений, и которые требуют еще экспериментального подтверждения. Целью настоящего исследования, из-за которой, надеюсь, мне простят его гипотетические части, являлось желание доказать физикам с возможной полнотой теоретическую, практическую и эвристическую важность этого закона, полное подтверждение которого представляет собой, пожалуй, одну из основных задач ближайшего будущего физики».

Установление закона сохранения силы не было делом одного или нескольких исследователей, оно было обусловлено развитием всей науки, в которой уже с самого начала столетия все сильнее чувствовалась тенденция к окончательному установлению этого закона. Но, конечно, закон должен был быть сначала официально провозглашен и технически зафиксирован в словах и формулах, прежде чем он стал известен всему научному миру и, еще больше, им был признан. Бесспорно первым и, быть может, наиболее оригинальным глашатаем его был *Майер*, подготовивший почву для этого закона изменением понятия о силе. Почти одновременно и независимо от него, но все-таки после него, *Джоуль* точнейшими измерениями доказал постоянство силы при превращениях механической работы и тепла. Независимо от Майера, но уже, по-видимому, будучи знаком с первыми работами Джоуля, *Гельмгольц* в свою очередь пытается распространить этот закон на всю область физики, идя, однако, при этом не философским путем, как Майер, а математическим. Сделать определенный выбор между этими тремя исследователями, а также и некоторыми другими, имевшими также немалые заслуги в деле установления и применения этого закона, и решить, кому из них, как какому-нибудь изобретателю в области техники, следовало бы выдать патент на открытие, — это значит, по моему мнению, совершенно не понимать ни сущности, ни значения нового воззрения, которое было достигнуто только в результате полного переворота в научных воззрениях.

Это ясно следует также из дальнейшей истории этого закона. *Быстрое принятие и правильная оценка работ Майера и Гельмгольца были затруднены преимущественно двумя обстоятельствами. Часть физиков вообще придавала мало значения общим рассуждениям о силах, признавала полезным только специальное опытное исследование отдельных физических факторов, опасалась в утверждении тождества всех сил и возможности всестороннего их превращения получить новое издание старой опостылевшей всем натурфилософии* и полагала, что от этих новых идей, во всяком случае, следует ожидать *вредного отклонения работ от заведомо плодотворного эмпирического метода. Другая же часть физиков, наоборот, смотрела на закон сохранения сил как на давно признанный идеал физики*, к которому наука будет все более и более приближаться, но к которому нельзя приблизиться при помощи упомянутых выше общих рассуждений.

Таким образом, с обеих этих сторон не было никаких побудительных оснований к тому, чтобы обратить особое внимание на упомянутые работы, скорее были достаточные основания, чтобы их совершенно обходить молчанием. *Поэтому первая работа Майера осталась как бы*

совершенно незамеченной: о ней не было упомянуто ни слова, как в научных журналах, так и в других изданиях. А по поводу приема, оказанного работе Гельмгольца, сам автор сообщает в характерных выражениях: «Я был до известной степени изумлен сопротивлением» встреченным мною в кругу специалистов: в помещении моей работы в «Анналах» Поггендорфа мне было отказано, а среди членов Берлинской академии наук один лишь К. Г. Я. Якоби, математик, стал на мою сторону. В те времена новыми убеждениями еще нельзя было достичь славы и повышения, скорее можно было добиться обратного»¹. Для работ Джоуля условия были более благоприятны. Против них первая группа физиков не могла выставить своих тенденциозных сомнений» другая же не могла не признать их фактической важности. Поэтому работы Джоуля должны были показаться, по крайней мере, на первых порах, действительной основой прогресса в физике. Постоянство отношения при превращении теплоты и механической силы, которое уже давно было высказано в принципе, было здесь доказано надежным экспериментальным путем. При таком положении дела каждому из новаторов оставалось пока обеспечить для себя самих плоды своих идей и постараться собственными работами сделать полезной эту бесспорно плодотворную область. Но когда физики занялись более углубленно работами Джоуля, они пришли и к лучшей оценке более общих воззрений Майера и Гельмгольца; а вскоре затем в положении вещей произошел крутой поворот, проявившимся в многочисленных спорах о первенстве открытия, еще так недавно казавшегося неважным.

Уже в 1845 г., в сочинении «Über die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe», Mannheim 1845² («О теплоте и упругости газов и паров») Гольтцман вычислил механический эквивалент — тем же путем, как и Майер, и почти с тем же результатом³ — из отношения теплоемкости воздуха при постоянном давлении и при постоянном объеме; но при этом он продолжал придерживаться воззрения Карно на действие теплового вещества путем его падения⁴. Сэген старший опубликовал в 1847 г. работу «Note à l'appui de l'opinion émise par M. Joule sur l'identité du mouvement et du calorique» («Замечание в подтверждение высказанной г. Джоулем мысли о тождестве движения и теплорода»⁵, в которой он обратил внимание на то обстоятельство, что уже в сочинении своем «Études sur l'influence de chemins

¹ „Wissenschaftliche Abhandlungen“, I, стр. 74, 1882.

² Извлечение в „Pogg. Ann.“, дополнительный том II, стр. 183.

³ Гольтцман получил 374 кгм, а Майер 367 кгм.

⁴ В посмертном сочинении „Mechanische Wärmetheorie“, Stuttgart 1866, Гольтцман охотно признает первенство Майера, равно как указанную Клаузиусом („Pogg. Ann.“, LXXXIX, стр. 658) ошибочность его воззрений на природу теплоты. Но, с другой стороны, он определенно утверждает, что в период составления им своего труда работы Майера ему были неизвестны и что признанию эквивалентности теплоты и работы существенно способствовала как раз его, Гольтцмана, работа, получившая очень быстро известность („Mechanische Wärmetheorie“, стр. 8—9). Carl Holtzmann (1811 — 1865) — профессор физики в Штутгартской политехнической школе.

⁵ „Comptes rendus“, XXV, стр. 420, 1847, Marc Séguin (1786—1875), — французский железнодорожный техник.

de fer», Paris 1839 («Очерки о влиянии железных дорог») он констатировал тождество природы и общность происхождения теплоты, потребляемой паровой машиной, и производимого ею движения. Далее, он сообщает, что на эту мысль его уже давно навел его дядя Монгольфье и что он рассчитывал подтвердить эти идеи надежными опытами и точно установленными фактами. Теперь ему удалось, хотя совершенно иным образом, чем Джоулю, придти почти к тем же результатам. А именно, он вычислил отношение между примененной силой и затраченной теплотой из охлаждения водяного пара при его расширении и таким образом определил величину механического эквивалента единицы тепла, который, как у Джоуля, оказался в среднем равным 449 кгм.

Кольдинг¹ еще ранее 1843 г. пытался обосновать закон сохранения силы, исходя из общефилософских соображений, и экспериментально его доказать, по крайней мере для случая превращения теплоты в механическую работу. По его собственным словам он при этом шел следующим путем². Так как силы являются существами духовными, нематериальными, которые нам известны лишь по их власти над природой, то они, без сомнения, должны быть существами значительно более высокими, чем все прочее, существующее материально; и так как, очевидно, одни лишь силы выражают ту мудрость, которую мы наблюдаем и которой удивляемся в природе, то они должны находиться в связи с той духовной, нематериальной и разумной мощью, которая руководит всяким прогрессом в природе. Но если это так, то совершенно нельзя себе представить, чтобы эти силы были существами смертными, преходящими; поэтому их следует считать, безусловно, непреходящими³. В области механики неизменность силы была уже установлена *«знаменитым и плодотворным законом д'Аламбера о живых и потерянных силах»*. Кольдинг полагал, что этот закон можно распространить на *все превращения механической работы, химической силы и других сил*, и предполагал изложить свои мысли в 1840 г. на Съезде натуралистов в Копенгагене. Однако по совету многих ученых, и, прежде всего Эрстеда, он отказался от этого плана, решив сначала *подтвердить свои идеи экспериментальным путем*. В качестве подходящего имеющегося уже готового материала он рассматривал *произведенные Дюлонгом измерения теплоты сжатия и охлаждения расширения газов*, замечание Эрстеда о *теплоте, развивающейся при сжатии жидкостей*, и, наконец, наблюдения Бертолле и Лагерхьельма *над нагреванием твердых тел при сжатии*. Но тут воспоминание об измерениях теплоты трения, произведенных Румфордом, Гальда, Морози и другими, навело его на мысль о непосредственном определении *связи между теплотой и механической работой*. С этой целью он устроил прибор вроде саней, который давал

¹ Ludwig August Colding (1815—1888), — инженер в Копенгагене.

² „Lettres aux Rédacteurs du Philos. Magazine sur l'histolre du principe de la conservation de l'énergie" p. M.A. Colding. Из „Philosophical Magazine" (4) XXVII, стр. 56—64, переведено M. Verdet в „Ann. de chim. et de phys." (4), 1, стр. 466—477, 1864.

³ Это очень старый философский прием выводить неизменность сил природы из неизменности творца.

52 СПОР МЕЖДУ МАЙЕРОМ И ДЖОУЛЕМ О ПЕРВЕНСТВЕ ОТКРЫТИЯ

ему возможность измерять количество тепла, развивающегося при различной нагрузке и при различных скоростях от трения латуни о латунь, цинк, свинец, железо, дерево и, наконец, о сукно. В результате почти 200 измерений было не только установлено постоянство отношения между механической работой и произведенным теплом, но также выведена средняя величина этого отношения, которая, будучи выражена в соответствующих единицах, оказалась равной отношению $350 \text{ к } 1$ ¹.

Эти результаты были Кольдингом сообщены в первой его работе по этому вопросу (1843 г.) Королевскому обществу в Копенгагене под заглавием «Nogle Saetninger om Kraefterne». Это сообщение было им, однако, названо *предварительным*, так как закон сохранения силы он рассматривал только как *вероятный*, а не как *твердо установленный* закон природы. Общество дало ему средства устроить более совершенный прибор; результаты произведенных с ним новых опытов и измерений были доложены Обществу натуралистов в Копенгагене в 1847 г., а потом и Королевскому обществу, которое поместило их в своих «Записках» частью в 1848 г., частью в 1850 г. В 1851 г. Кольдинг опубликовал новую работу, в которой им была изложена с совершенно новой точки зрения теория паровой машины. Наконец, в 1856 г. в «Записках» Королевского общества появилась еще одна работа Кольдинга под заглавием «*Physikalische Untersuchungen über das allgemeine Verhältniss; welches zwischen den intellectuellen und den Naturkräften existirt*» («Физические исследования об общем отношении, существующем между интеллектуальными и естественными силами»), в которой он, переработав всю область натурфилософии на основе нового закона, зашел дальше Майера в том отношении, что, включив в сферу действия закона сохранения энергии также и *духовные силы*, он из неразрушимости естественных сил попытался прямо сделать вывод о *бесконечности интеллектуальной жизни человека*.

Вначале работы Кольдинга обратили на себя так же мало внимания, как и работы Майера, и только впоследствии их стали выдвигать против последнего. Сам Майер выступил с заявлением о своих правах на первенство после того, как значение опытов Джоуля стало получать все большее признание. В 1847 г. Джоуль поместил в «Comptes rendus» сообщение о своих исследованиях над механическим эквивалентом теплоты², не упомянув при этом даже имени Майера. Поэтому Майер³

¹ Кольдинг при этом отмечает, что это почти то же самое отношение, которое в 1842 г. „без доказательства“ дал Майер. Верде в одном примечании очень энергично опровергает последние слова: „Если бы мы пожелали одинаково строго критиковать первые работы, относящиеся к механической теории теплоты, было бы нетрудно почти совершенно аннулировать права Кольдинга и Джоуля... Когда Джоуль нашел для соотношения между затраченной работой и теплотой, выделяющейся в магнитоэлектрической машине, различные числа, которые колебались между 321 и 571, то можно было утверждать, что на основании этих данных Джоуль должен сделать вывод об *отсутствии постоянного отношения* между этими величинами. Несправедливость подобных заключений совершенно очевидна; но не менее очевидна, по нашему мнению, и несправедливость критики, направленной с различных сторон против Майера („Ann. de chim. et de phys.“ (4), стр. 470—471, 1864).

² „Comptes rendus“, XXV, стр. 309—311, 1847.

³ Там же, XXVII, стр. 385—387, 1848.

СПОР МЕЖДУ МАЙЕРОМ И ДЖОУЛЕМ О ПЕРВЕНСТВЕ ОТКРЫТИЯ 53

в следующем году в том же журнале сообщил о *зарождении своих первых идей* о законе сохранения силы в *Сурабайе* в 1840 г., затем о *первом* произведенном им *определении механического эквивалента теплоты* в 1842 г. и, наконец, о *подробном изложении этих идей* в его работе 1845 г.; в этом сообщении он, со своей стороны, тоже ни словом не упомянул о Джоуле. После этого Джоуль счел себя вынужденным *выступить с критическим отзывом* о работах Майера, в котором он не проявил особенной глубины и которому, пожалуй, лучше было бы совсем не появляться ¹. Описывая вначале ход развития своего открытия, он уверяет, что *во время своих работ он не имел ни малейшего понятия о сочинении Майера 1842 г.* Далее он утверждает, что *постоянство теплостойкости газа при всех изменениях его плотности было впервые установлено лишь благодаря его, Джоуля, измерениям*, между тем как на основании всех прежних опытов, в особенности опытов Марсэ и де-ла-Рива, можно было ожидать скорее обратного. *При этих условиях Майер не имел основания, по его мнению, сделать того вывода, что вся теплота, затраченная при расширении газа, эквивалентна произведенной им при этом внешней работе*; а вместе с тем, следовательно, и самое определение механического эквивалента, произведенное Майером, теряет свою силу. Указав далее на заслуги Румфорда, Дэви и Сегена в области механической теории теплоты, Джоуль заканчивает свою статью следующим выводом: «На этом основании каждый признает остроумие Майера, предсказавшего численные отношения, которые *должны быть установлены* между теплотой и силой; но нельзя, мне кажется, отрицать, что *я был первым, доказавшим существование механического эквивалента теплоты и определившим его численную величину с помощью бесспорных опытов*».

Майер опроверг эти суждения настолько легко и убедительно, насколько только это было возможно ². Джоуль, — говорит он, — *был бы прав, если бы Гэ-Люссак уже в 1807 г. не доказал* («Mém. d'Arc», I, стр. 180), *что газы могут расширяться без всякой затраты теплоты и внешней работы*. Затем он приводит подлинное место из своей работы 1845 г., где он сослался на этот опыт ³, и заканчивает свою статью следующими прекрасными, исполненными достоинствами словами: «Впрочем, я убежден, что Джоуль сделал свои открытия о теплоте и силе, не зная моих, и признаю, что многочисленные заслуги этого известного физика внушают мне большое к нему уважение; но, тем не менее, я полагаю, что могу с полным правом снова повторить, что закон эквивалентности теплоты и живой силы, с его численным выражением, опубликовал впервые я (в 1842 г.)»... Во всяком случае, Джоуль, делая свое первое заявление, подобно большинству противников Майера, знал лишь *первую предварительную работу Майера 1842 г.*; к сожалению, этот ряд полемических статей в «Comptes rendus» прервался на только что

¹ Там же, XXVIII, стр. 132—135, 1848.

² Там же, XXIX, стр. 534—535, 1849.

³ „Die organische Bewegung" в „Mechanik der Wärme", стр. 11: „Гэ-Люссак на опыте доказал, что упругая жидкость, переходя из одного баллона в другой, равной величины и не содержащий воздуха, охлаждается в первом сосуде как раз на столько градусов, на сколько она нагревается во втором".

54 ВЫСТУПЛЕНИЯ КЛАУЗИУСА И ТИНДАЛЯ В ЗАЩИТУ ПРАВ МАЙЕРА

приведенном ответе Майера, я Джоуль не имел случая исправить свою явную ошибку, происшедшую вследствие недостаточного знакомства с работами Майера¹.

Если Майеру при помощи приведенной выше статьи удалось настолько обратить внимание на свои работы, что после этого, по крайней мере, французские и немецкие физики стали в большинстве случаев ставить его имя в связь с новыми идеями о силе, то, с другой стороны, условия его яичной жизни сложились столь неблагоприятно, что он в течение целых десяти лет был лишен возможности лично продолжать начатое им дело². Поворот к лучшему в этих печальных судьбах Майера наступил лишь в начале шестидесятых годов; нельзя не порадоваться, что в таком повороте не малую роль сыграл английский физик Джон Тиндаль. Клаузиус, лицо прикосновенное к этому пово-

¹ В историческом введении к своему главному сочинению 1850 г. Джоуль снова цитирует только работу Майера 1842 г. и притом в выражениях, не затрагивающих самой сути вопроса: „Первое упоминание об опытах, в которых было установлено возникновение теплоты от трения жидкостей, принадлежит, насколько мне известно, Майеру, который утверждает, что взбалтыванием воды он поднял ее температуру от 12 до 13°; при этом он, однако, не указывает величины затраченной им работы и не упоминает о мерах предосторожности, примененных для обеспечения точности результата" („Mechanische Wärmeäquiv.", стр. 91, Braunschweig 1872). В следующем году по поводу гипотезы о полной эквивалентности между работой, затраченной на сжатие воздуха и полученной при этом теплотой, он высказывается несколько более объективно: „Позднее я увидел, что подобную же гипотезу раньше меня высказал Майер, хотя он не сделал никаких попыток доказать ее правильность опытным путем" („Mechanische Wärmeäquivalent", стр. 122). Несмотря на совершенно точную и ясную поправку Майера, Тэт позднее повторял приведенное выше возражение Джоуля почти в той же неизменной форме („Über einige Fortschritte etc.", стр. 46, Braunschweig, 1877).

² Гельмгольц, который еще в „Fortschritten der Physik" за 1847 г. приводит работу Майера лишь для полноты, в том же издании за 1849 г. (т. V, стр. 241—142, Berlin 1852), говорит: „Утверждение о неразрушимости величины работы механических сил и об эквивалентности проявлений различных естественных сил определенным величинам механической работы высказал впервые Майер в 1842 г.". В своем обзоре за 1850 и 1851 гг. он говорит „о гипотезе, впервые высказанной Майером" и затем принятой Джоулем и автором обзора; после этого он уже всегда Майера ставит на первое место среди основоположников механической теории теплоты. В. Реньо в 1853 г. („Comptes rendus", XXXVI, „Pogg. Ann.", XXXIX, стр. 339) признает заслуги Майера в области механической теории теплоты: „Джоуль, Томсон и Ранкин в Англии, Майер и Клаузиус в Германии... разработали исчисление механической теории теплоты и попытались вывести из нее законы всех явлений, наблюдаемых в газах. С своей стороны, я уже давно излагал в своих лекциях подобные же идеи". Наоборот, Уэвелл еще в 1857 г. в третьем издании своей в остальном совершенно беспристрастной „History of the inductive sciences" (II, стр. 487, Additions to the III Edition) говорит по поводу механического эквивалента теплоты следующее: „Основы этой теории были, по-видимому, заложены Джоулем в 1844 г.; после этого она была разработана им, а также проф. Томсоном с помощью различного рода экспериментальных исследований". А Поггендорф, в соответствующем выпуске своего „Biographisch-literarischen Handwörterbuch" (т. II, стр. 94) приводит по поводу Майера даже такого рода сведения: „По-видимому, умер раньше 1838 г. в доме умалишенных („Augsb. Allgem. Zeitung"); однако в прибавлении (II, стр. 1428) — надо думать по настоянию самого Майера — сделана следующая поправка: „не умер в 1858 г. в доме умалишенных, а в настоящее время (1862 г.) еще жив"...

ВЫСТУПЛЕНИЯ КЛАУЗИУСА И ТИНДАЛЯ В ЗАЩИТУ ПРАВ МАЙЕРА 55

роту, рассказывает по этому поводу следующее ¹: «До начала шестидесятых годов работы Роберта Майера были очень мало известны. Из них только первая, короткая статья, не лишенная некоторых недостатков редакционного характера, появилась в 1842 г. в научном журнале и благодаря этому получила распространение в более широких кругах; остальные же, будучи напечатаны в виде отдельных брошюр, были преданы забвению, так как во время их появления мало кто интересовался этим вопросом. Я сам в это время знал лишь его первую работу; поэтому и получилось, как об этом правильно сообщает Тиндаль в нижеприводимом докладе, что когда Тиндаль в 1862 г. обратился ко мне с запросом о содержании работ Майера, я ему ответил, что, по моему мнению, он в них не найдет много интересного, но что, во всяком случае, я постараюсь их ему достать. Но когда я затем получил от книгопродавца из Гейльбронна брошюры Майера и перед отправкой Тиндалю сам их прочитал, то увидел, что ошибся: в этих брошюрах Майер не только исправил прежние недочеты в своих механических представлениях — совершенно, впрочем, понятные во враче-практике, принимающемся впервые писать о механических вопросах, — но проявил наряду с ясным и отчетливым изложением своих воззрений достойное удивления богатство идей, хотя со всем там изложенным и нельзя было согласиться ². Поэтому, пересылая эти работы Тиндалю, я взял свои прежние слова назад и указал ему на те стороны, которые в этих работах я признал особенно существенными. В это время, по случаю Промышленной выставки 1862 г. в Лондоне, Тиндалю предстояло сделать публичный доклад в Royal Institution перед многочисленной избранной аудиторией, съехавшейся из различных стран. Темой для своего доклада он избрал сочинения Майера и в обычной для него увлекательной форме изложил все основные выводы работ Майера. Когда публика, в сильнейшей степени заинтересовавшаяся данным вопросом, естественно, пожелала узнать, кому принадлежат все эти исследования, Тиндаль

¹ „Die mechanische Behandlung der Elektrizität“, стр. 325—326, Braunschweig 1879. John Tyndall (1820—1893), изучал физику в Марбурге и Берлине; с 1853 г. — профессор физики в Royal Institution в Лондоне.

² Для Майера было крайне важно, что, наконец, обратили внимание на его более поздние работы, последовавшие за статьей 1842 г.; неправильная оценка его заслуг происходила в большинстве случаев оттого, что постоянно ссылались только на его первую работу. Об этом, между прочим, говорят следующие слова У. Томсона, сказанные им в 1851 г. и не совсем еще в общем неблагоприятные для Майера: „Первым опубликованным в печати сообщением об этом принципе (эквивалентности между механической работой и теплотой), невидимому, является работа Майера „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“, которая содержит в себе несколько правильных суждений по вопросу о взаимной превратимости тепла и механической работы, наряду с неправильной аналогией между приближением груза к земле и уменьшением объема непрерывной массы, причем на основании этой аналогии Майер попытался построить определение механического эквивалента для данного количества теплоты... В работе, опубликованной спустя примерно четырнадцать месяцев после этого... Джоуль из Манчестера изложил очень ясно свои выводы по вопросу о взаимной превратимости теплоты и механической работы... и определил на бесспорных основаниях абсолютные численные отношения, связывающие между собою теплоту и механическую силу" („Edinburgh. Trans.“, XX, стр. 262, 1853 г., доложено 17 марта 1851 г.).

56 НАПАДКИ ТЭТА НА МАЙЕРА

назвал имя человека, который, живя в маленьком немецком городке, без всякой научной поддержки и поощрения, с удивительной энергией и настойчивостью работал над развитием своих гениальных мыслей».

К сожалению, этот смелый благородный поступок Тиндаля не обошелся без неприятностей для него лично. «Вскоре после этой лекции в одном очень распространенном, но не научном, английском журнале «Good Words» появилась статья «Energy», подписанная Томсоном и Тэтом, но составленная только последним, как это явствует из одного более позднего замечания Тэта. В этой статье после упоминания о первой работе Майера говорится: *«На основании этой работы была сделана попытка присвоить Майеру честь первого открытия принципа сохранения энергии в общем его виде. Конечно, верно, что «наука не имеет отечества» и британским философам делает величайшую честь, что они повели себя столь либерально соответственно этой истине. Однако не следует полагать, что эта истина совершенно исключает возможность научного патриотизма или что при своем желании воздать должное иностранцу мы обязаны обесценивать или попира́ть права своих собственных граждан. Особенно страшит нас то обстоятельство, что предпринятая недавно попытка посадить Майера на то место, на которое он сам никогда не притязал и которое задолго до того было занято другим лицом, нашла поддержку в тех самых стенах, в которых Дэви излагал свои замечательные открытия»*.

За этой указанной Клаузиусом статьей последовала продолжительная, временами очень обостренная, полемика между Тиндалем и Тэтом (профессором физики в Эдинбурге), которая велась преимущественно в «Philosophical Magazine» (XXV, XXV, XXVIII, 1863—1864) и которую последний продолжил в брошюре 1868 г. «Sketch of Thermodynamics» («Очерки термодинамики»), а также в более обширном сочинении «Lectures on some Recent Advances in Physical Science», London 1876 («Лекции о некоторых новых успехах в области физических наук»). В интересах исторической справедливости мы должны коснуться и этих работ. Первую из них, «Sketch of Thermodynamics», Тэт предварительно распорядился отпечатать в ограниченном количестве экземпляров и разослал их для отзыва некоторым специалистам, между прочим, Гельмгольцу и Клаузиусу. Гельмгольц ответил ему в явно неодобрительном тоне: «Что касается Роберта Майера, то я могу понять ту точку зрения, которой вы придерживаетесь по отношению к нему, но я все-таки не могу упустить случая, чтобы высказать, что я не вполне придерживаюсь этого мнения... Хотя никто, таким образом, не станет отрицать, что Джоуль сделал гораздо больше Майера и что в первых работах Майера многие частности неясны, но я все-таки полагаю, что на Майера следует смотреть, как на человека, который независимо и самостоятельно пришел к этой мысли, обусловившей величайший современный прогресс естественных наук. Заслуга его не становится меньшей оттого, что одновременно с ним другой ученый, в другой стране и на другом поприще сделал то же самое открытие И впоследствии развил его даже лучше, чем он»¹. Письмо Клаузиуса на-

¹ Helmholtz, Wissensch. Abhandl., I, стр. 72 и 73.

НАПАДКИ ТЭТА НА МАЙЕРА 57

писано более резко: «Позвольте мне в заключение еще сказать Вам... прямо, что, по моему мнению, Ваша статья, в настоящем ее виде, может только повредить Вашей собственной столь высокой научной репутации. Любой читатель с первого взгляда увидит, что это не неллицеприятное историческое изложение вопроса, чего бы следовало ожидать от ученого вашего ранга, а проникнутая партийностью статья, написанная только для прославления некоторых немногих лиц. Я сам высоко ценю этих самых лиц, но полагаю, что из-за них не следует унижать других»¹. Несмотря на это, рассматриваемая работа вышла в свет почти в неизменном виде, а в позднейшей работе 1876 г. Тэт выражается о Майере еще с большей резкостью и с такой односторонностью, что печальнее этого трудно себе представить: «Хотя мы еще и не располагаем всеми данными для суждения по этому вопросу, но уже пришло время поставить Майера, насколько это возможно, на соответствующее ему место. Его неразумно восхвалили, а был он человеком несчастным, поэтому естественно ожидать крика негодования против всякого, кто возьмет на себя необходимую задачу определить его действительные заслуги. Но в истории науки не существует *argumentum ad misericordiam* (соображений жалости). Осуждение, если о таком может быть речь в подобном деле, падает на голову тех, кто ложно приписывает ему то, чего он совершенно не сделал»². «Создан и экспериментально доказан был закон сохранения энергии в его общем виде бесспорно Кольдингом в Копенгагене и Джоулем в Манчестере»³.

Тэт настаивает на том, что первым моментом в деле разработки закона сохранения энергии должно было быть установление эквивалентности между теплотой и работой; а так как Майер никаких собственных опытов в этом направлении не сделал, а использовал лишь наблюдения других физиков, то Тэт полагает, что можно совершенно отрицать какие бы то ни было заслуги Майера в этой области. При этом Тэт совершенно упускает из виду необходимость предварительного анализа, очищения и преобразования понятия о силе, считая весь закон собственно достаточно уже обоснованным признанною на опыте невозможностью вечного движения (*perpetuum mobile*)⁴. Но, с одной стороны, Тэт упускает из виду теоретико-познавательное происхождение

¹ *Clausius*, Die mechanische Behandlung der Elektrizität, стр. 329, 1879.

² „Vorlesungen über einige Fortschritte etc.“, стр. 48, Braunschweig 1877.

³ Там же, стр. 49. Следует отметить, что сам Кольдинг не претендует на приписанное ему здесь первенство перед Майером. Вот что он сам пишет по этому поводу в совершенно ясных выражениях („Ann. de chim. et de phys.“ (4), I, стр. 467): „Полагаю, вам известно, что Верде и Гельмгольц, на основании тех частей моих работ, которые были в их распоряжении, сочли нужным поставить мое имя в истории открытия нового начала непосредственно вслед за Майером“.

⁴ „Vorlesungen über einige Fortschritte etc.“, стр. 59, Braunschweig 1877. О том, что и Джоуль не был согласен с этим доводом, можно заключить из многих мест его сочинения, например из следующего: „Так как я держусь того мнения, что только творец имеет силу уничтожать, то я согласен с Роже и Фарадеем в том, что всякая теория, приводящая в своих последствиях к возможности уничтожения сил, по необходимости неверна“ („Das mechanische Wärmeäquivalent“, стр. 75).

58 МНЕНИЯ О ФИЗИЧЕСКОМ ВЕЧНОМ ДВИГАТЕЛЕ

этого закона как основы всей физики, а с другой стороны, — здесь сказывается незнание истории фактических воззрений на понятие *perpetuum mobile*, каким оно было у физиков того времени. Конечно, опытные доказательства против возможности вечного движения, построенного только на действии механических сил, можно считать, существовали уже и в то время; но что, несмотря на это, *perpetuum mobile* все-таки не считалось абсолютно невозможным, ясно видно из следующих слов уважаемого физика Мунке, которые можно найти в «Физической энциклопедии» Гелера¹ и которые мы уже однажды частично цитировали: *«Если речь пойдет о perpetuum mobile physicae (физическом вечном двигателе), то не подлежит никакому сомнению, что таковой возможен, ибо круговорот вещей в природе длится непрерывно и непрерывно возобновляется. Поэтому, если удастся использовать какую-либо подобную имеющуюся в природе силу для приведения в движение прибора, то эта задача будет разрешена. В действительности различные механизмы такого рода существуют, только зачастую мы недостаточно обращаем на них внимание с этой специальной точки зрения. Так, между прочим, наша планетная система представляет настоящий perpetuum mobile; в меньшей степени — вращающаяся около своей оси земля; река, текущая непрерывно, благодаря непрерывной смене испарения и осадения; барометр, с его непрерывными колебаниями, вследствие никогда не прекращающихся воздушных течений; ежедневно колеблющаяся магнитная игла, — все эти и бесчисленные другие приборы движутся, без сомнения, непрерывно, но движущая сила или причина их движения лежит в природе. Все они принадлежат к тому классу механизмов, которые можно обозначить общим названием perpetuum mobile physicae... Основанный на этом взгляд с вытекающими из него определениями представляется мне настолько простым и ясным, что я считаю излишним к нему что-либо прибавлять. Совершенно иное представляет собою perpetuum mobile mechanicae (механический вечный двигатель), который обыкновенно и имеют в виду, когда речь идет о возможности его построения». С точки зрения этих слов известного и авторитетного физика, написанных им в 1833 г. и никем фактически не опровергнутых вплоть до 1842 г., современной физике с ее законом сохранения энергии как главной основой пришлось бы очень плохо, если бы этот закон опирался только на опытно доказанную невозможность вечного движения в самом общем смысле. Эти слова скорее показывают, что невозможность perpetuum mobile не является опытным положением, из которого можно вывести закон сохранения силы, и что, наоборот, только вытекающая из правильно построенного понятия о силе невозможность созидания и уничтожения сил укрепила идею о невозможности perpetuum mobile и обеспечила ей всеобщее признание.*

В какой мере одностороннее превознесение экспериментального метода и полное отрицание значения дедукции в физике основаны у Тэта на достаточно глубоком философском исследовании научных методов, мы здесь сказать не можем. Но, во всяком случае, он про-

¹ „Wörterbuch der Physik". VII, стр. 410—411, 2 изд.. 1833.

являет национальный патриотизм и в научной области, склонность к превознесению заслуг своих соотечественников и легкость в умолчании заслуг иностранцев, благодаря чему объективное отношение к историческому развитию и к заслугам ее деятелей у него в высшей степени затруднено. Из многих мест его сочинения, свидетельствующих о том, что он не всегда победоносно преодолевает подобные трудности, я приведу только два. Согласно Тэту, основоположником новой физики является не Галилей, а англичанин Гильберт; Галилей рассматривается только позднее, одновременно с англичанином Ньютоном ¹. Подобно этому и датчанин Кольдинг выводится в качестве соучастника в открытии закона сохранения силы, в противовес немцу Майеру; но Кольдинг, по его собственному признанию, был впервые наведен на это открытие принципом д'Аламбера; по мнению же Тэта этот принцип есть не что иное, как частный случай ньютоновского закона о равенстве действия и противодействия. *«Таким образом, вы видите, — говорит Тэт ², защищая без особой нужды права своего соотечественника Ньютона, — что в сущности Кольдинг был наведен на свою мысль работой Ньютона»*. Позднее Тэт, помимо Кольдинга, открыл еще другого ученого, который показался ему подходящим для уничтожения всяких прав Майера. *«Уже после выхода в свет настоящего сочинения (в апреле 1876 г.), — говорит он ³, — мое внимание обратили на работу Мора, которая аннулирует почти все, что было сказано в пользу первой работы Майера... В сочинении Мора содержится почти все, что есть правильного в работе Майера, и притом в гораздо более совершенной форме... Как раз тот прием (исчисления механического эквивалента теплоты из теплоемкости воздуха при постоянном давлении, с одной стороны, и при постоянном объеме — с другой), по поводу которого Майер так превозносится многими, — хотя в принципе, если не прак-*

¹ „Vorlesungen über einige Fortschritte etc.“, Braunschweig 1877, стр. 10—11: „Творцом настоящей экспериментальной науки был, по-видимому, Гильберт из Кольчестера, по справедливости прославленное сочинение которого „De magnete“ было опубликовано 300 лет назад. За ним явились Галилей и Ньютон, сделавшие гигантские шаги в истинном направлении и установившие на все времена тот единственный путь, по которому только и можно дойти до открытия физических законов”.

² Там же, стр. 50.

³ „Vorlesungen über einige Fortschritte etc.“, Braunschweig 1877 г., предисловие ко второму изданию, стр. IX. Соответствующая статья Фридриха Мора „Über die Natur der Wärme“, на которую, кстати сказать, Тэт неправильно ссылается как на появившуюся якобы в „Анналах“ Либига за 1837 г., имела своеобразную судьбу. Мор послал свою рукопись в 1837 г. Поггендорфу, но последний не принял ее для своего журнала, так как в ней „не содержалось никаких новых экспериментальных исследований“. Послав затем рукопись в Вену Баумгэртнеру и не получив от него ответа, Мор счел эту рукопись потерянной. Только в 60-х годах ему указали, что его статья все-таки была напечатана в журнале Баумгэртнера и Гольгера „Zeitschrift für Physik“ (V, стр. 419, 1837 г.). Достав с большим трудом один экземпляр этого журнала, давно прекратившегося и ставшего уже библиографической редкостью, Мор заново отпечатал свою статью без всяких изменений и выпустил ее отдельной небольшой брошюрой под заглавием „Allgemeine Theorie der Bewegung und Kraft“ („Общая теория движения и силы“), Braunschweig 1869.

60 РАБОТА МОРА О ПРИРОДЕ ТЕПЛОТЫ

тически, он совершенно неправилен, — изложен у Мора гораздо яснее, чем это было сделано Майером пять лет спустя». *Понять генезис этих суждений Тэта еще труднее, чем все высказанное им раньше.* Действительно, в упомянутой работе 1837 г. Мор устанавливает чистую теорию теплоты как движения; предвосхищая в ряде пунктов позднейшие кинетические теории теплоты, он дает такое определение газов, которое в своей основе почти совпадает с позднейшею механической теорией газов ¹, и, наконец, он совершенно ясно излагает принцип единства всех сил природы и их взаимной роевратимости ².

Но из того, что содержится в первой работе Майера по вопросу о постоянстве сил природы и что собственно составляет сущность новых воззрений на силы, в трактате Мора ничего не имеется. Мор применяет еще слово сила по-прежнему в смысле элементарного свойства материи, о замене этого понятия другим понятием ограниченной работоспособности, необходимость чего Майер так ясно выдвигает, у Мора нет и помину. *Все положения Мора относятся лишь к превращению форм сил; в рассмотрение же величин силы и в особенности сохранения ее при всех превращениях — он совершенно не входит.* Исчисление механического эквивалента по теплоте сжатия «воздуха внесено в сочинение Мора при чтении самим Тэтом, так как вычитать этот факт из брошюры Мора человеку, не знающему его наперед, совершенно невозможно. Да и сам Мор нисколько не считает себя соперником Майера: признавая без всякой зависти заслуги Майера в деле установления механического эквивалента теплоты, он оставляет за собою — и с полным правом, как показывает его работа — лишь место одного из первых приверженцев теории теплоты как движения и идеи о единстве всех сил природы ³. Таким образом Тэт вторично имел несчастье попытаться использовать в борьбе против Майера, в качестве соперника последнего, такого человека, который сам в этом спорном деле ставит Майера впереди себя.

К сожалению, и у нас в Германии нашлось сочинение, которое, пожалуй, еще более односторонне и ошибочно, чем работа Тэта, пытается не осветить заслуги Майера в должном свете, а совершенно уничтожить заслуги его соперника. В то время как сам Майер старался превзойти Джоуля в великодушном признании чужих заслуг,

¹ „Газообразным мы называем такое тело, у которого вибрации настолько усилены, что частицы его уже выходят за пределы этих притяжений и только взаимно отталкиваются" („Allgem. Theorie der Bewegung und der Kraft", стр.90).

² „Кроме известных 54 химических элементов, в природе вещей существует еще только один агент, называемый силой. При соответствующих условиях он может проявиться как движение, химическое сродство, сцепление, электричество, свет, теплота и магнетизм; а из каждого подобного явления могут быть воспроизведены все прочие" („Allgem. Theor. der Bewegung und der Kraft", стр. 103).

³ Сравни. „Allg. Theor. der Bew. und d. Kraft", стр. 80—84. Karl Friedrich Mohr (1806—1879) — сначала аптекарь в Кобленце, потом (1864 г.) приват-доцент, а с 1867 г. профессор фармации в Бонне. Упомянутая здесь работа вышла в качестве прибавления к большому сочинению „Mechanische Theorie der chemischen Affinität" („Механическая теория химического сродства"), Braunschweig 1868.

Дюринг в своей книге «Robert Mayer, der Galilei des 19. Jahrhunderts», Chemnitz 1880 («Роберт Майер, Галилей XIX в.») явно старается восполнить недосказанное, по его мнению, Майером и выставляет Джоуля прямым подражателем Майера на том лишь основании, что первая работа Джоуля появилась позднее первой работы Майера. «Этот Fellow (член) Лондонской академии наук, со своей парой повторительных опытов, возомнил себя единственным. Но в действительности этот Fellow был лишь подражателем, и если может идти речь о его талантах и заслугах, то это, конечно, лишь таланты подражания»¹. Эти слова Дюринга настолько ясно определяют полемический характер названной его работы как *ненаучного памфлета*², что мы со спокойной совестью о ней здесь больше говорить не будем. Заканчивая на этом грустную повесть о разногласиях по поводу приоритета, мы приведем здесь прекрасные слова Тиндаля, к которым присоединяемся от всей души³: «На работах Майера лежит некоторая печать глубокого созерцания, достигшего в уме автора силы несомненного убеждения. Работы Джоуля являются, наоборот, экспериментальными доказательствами. Майер завершил свою теорию умственно и довел ее до ее прекрасных применений. Джоуль разработал свою теорию и сообщил ей надежность закона природы. Верный умозрительному инстинкту своей страны, Майер сделал великие и важные выводы из своих исходных положений, англичанин же больше всего старался о том, чтобы с полной неоспоримостью установить факты. *Полагаю, что будущий историк науки не станет смотреть на этих людей как на соперников*».

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ (приблизительно от 1840 до 1860 г.). Так как новые воззрения на сущность и действие сил природы лишь медленно прокладывали себе путь, то и *механическая теория теплоты*, в основе которой лежали именно эти воззрения, не могла развиваться быстро. Лишь после того как было всесторонне изучено и получило общее признание постоянство отношения между теплотой и механической работой, оно могло быть использовано для ниспровержения старой вещественной теории теплоты и для обоснования необходимости разработки новой теории теплоты. Поэтому-то после работ Майера и Джоуля прошло почти целое десятилетие, прежде чем укрепилось новое движение в области учения о теплоте, но, однажды начавшись, оно стало развиваться с тем большей быстротой. *Вначале работы экспериментальных физиков в течение нескольких лет протекали еще полностью в области старых проблем; однако и последние, как бы сами по себе, без всякого предвзятого намерения со стороны этих работников, постепенно отдаляли последних от старой теории и приводили к результатам, послужившим основанием для новой теории.*

¹ „Robert Mayer, der Galilei des 19. Jahrhunderts“, стр. 56.

² Если приведенные выше слова кого-нибудь недостаточно убедили, он сам без труда может найти в сочинении Дюринга еще много более резких суждений.

³ Tyndall, Die Wärme, betrachtet als eine Art der Bewegung, стр. 96—97, Braunschweig 1867 (имеется перевод на русский язык: „Теплота как род движения“).

62 ОПЫТЫ КНОБЛАУХА НАД ЛУЧИСТОЙ ТЕПЛОТОЙ

Кноблаух ¹ занялся опытами Меллони над лучистой теплотой и повел их успешно дальше. В большой работе «De calore radiante disquisitiones experimentis quibusdam novis illustratae», Berlin 1846 ² («Исследования о лучистой теплоте, поясненные некоторыми новыми опытами») он, идя по стопам Меллони, но, только применяя больше предосторожностей против возможных источников ошибок ³ и более совершенные приборы, исследовал: *прохождение лучистого тепла через теплопрозрачные тела, нагревание тел при прохождении лучистой теплоты, тепловую излучательную способность тел, свойства тепловых лучей, испускаемых различными телами при различных температурах, диффузное отражение тепла от различных тел и, наконец, свойства световых лучей, испускаемых различными источниками тепла*. В качестве специальных результатов своих исследований Кноблаух указывает на следующее. Прохождение лучистого тепла через теплопрозрачные тела не находится в прямом отношении к температуре его источника, а зависит только от свойств теплопрозрачного вещества, которое для одних лучей более проницаемо, чем для других, независимо от того, возникли ли они при более высокой или более низкой температуре. Нагревание тела лучистой теплотой, при равной интенсивности падающих на него лучей, не зависит от температуры их источника, а зависит лишь от природы поглощающего тела, которое по отношению к одним лучам более восприимчиво, чем по отношению к другим. В известных пределах тело нагревается тем сильнее, чем оно толще, и притом тем в большей степени, чем менее оно прозрачно для данных лучей. Поглощение и излучение тепла соответствуют друг другу лишь постольку, поскольку они являются функциями одного и того же тела и поскольку в расчет не принимается природа тепловых лучей. Установленное Меллони положение, что исчерченность поверхности тела влияет на тепловую лучеиспускательную способность лишь в той мере, в какой она изменяет плотность и твердость вещества, и что она усиливает или ослабляет лучеиспускание в зависимости от того, разрыхляет ли она или уплотняет соответствующие места, подтвердилось. Излучательная способность тела не зависит от природы тех лучей, благодаря поглощению которых оно нагрелось. Каковы бы ни были толщина и свойства поверхностей твердых тел, все они, как показывают имеющиеся пока в нашем распоряжении средства, излучают теплоту равномерно, независимо от способа возбуждения этого излучения, в пределах осуществленных до сих пор опытов, а именно — в температурном интервале от 30 до 115° С. Диффузия теплоты на шероховатых поверхностях не находится ни в какой связи

¹ Karl Hermann Knoblauch родился в 1820 г. в Берлине; сначала — приват-доцент в Берлине, потом (1849 г.) — экстраординарный профессор в Марбурге, с 1853 г. — ординарный профессор в Галле и президент Леопольдино-Каролинской академии; умер в 1895 г.

² Также „Pogg. Ann.“, LXX, стр. 205 и 337; LXXI, стр. 11. Реферат автора, в „Fortschritte der Physik“, издаваемых Берлинским физическим обществом, II, стр. 280—311.

³ Так, например, для катушки своего гальванометра Кноблаух применил медь, осажденную гальваническим путем, т. е. совершенно свободную от железа.

ТЕПЛОВЫЕ ЦВЕТА. ДВОЯКОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ 63

с температурой источника. Диффузное отражение от одних тел видоизменяет лучистую теплоту в значительной степени, от других — совершенно не изменяет. При одном и том же веществе эти видоизменения не зависят от состояния поверхности. Изменения теплоты при диффузном отражении обуславливаются как природою источника теплоты, так и свойствами отражающих тел. Они являются лишь следствием избирательного поглощения отражающих тел по отношению к известным тепловым лучам, падающим на них. Многообразие тепловых лучей, испускаемых одним и тем же телом, вообще при более высоких температурах выше, чем при низких, однако оно не растет всегда с температурой и не находится в заметной связи с лучеиспускательной способностью.

Этим исследованиями было вновь доказано существование различных тепловых лучей, которые в своем отношении к телам проявили те же отличительные особенности, какие присущи световым лучам различных цветов. Поэтому впоследствии это дало основание назвать эти разнородные тепловые лучи *тепловыми цветами*. Аналогия эта оказалась настолько полной, что все вышеприведенные результаты можно было предсказать на основании соответствующих свойств световых лучей. *Но благодаря этому представлялось совершенно необходимым доказать и на тепловых лучах все свойства световых лучей, поскольку последние только не связаны с вполне определенной длиной волны.* Кноблаух исследовал с. большим усердием и эту задачу и блестяще ее разрешил. Уже в 1848 г. он поместил в журнале «Poggendorff's Annalen» ряд статей о *двойном преломлении, поляризации и дифракции лучистой теплоты*, в которых он до известной степени исчерпал эту тему.

Берар нашел, что оба изображения источника света в призме известкового шпата проявляют одинаковые тепловые свойства, и отсюда сделал вывод о *двойном преломлении теплоты*; Форбс и Меллони пришли к тому же выводу, так как слюдяная пластинка оказалась способной до известной степени нейтрализовать поляризацию теплоты. Кноблаух¹ пропускал солнечный луч из гелиостата через два расположенных друг за другом узких отверстия, образованных двумя парами стальных остриев, на кристалл известкового шпата и исследовал изображения с помощью линейного термостолбика в 0,26 мм шириною. При медленном перемещении последнего он получил сначала отклонение стрелки гальванометра на 20°,5, затем обратное смещение на 5°, а затем снова отклонение на 20°,75. Дальнейшими опытами он вполне определенно доказал, что при двойном преломлении тепловые лучи разлагаются на *неподвижную* группу лучей (обыкновенные лучи) и *подвижную* (необыкновенные лучи); что обе эти группы имеют всегда одинаковую интенсивность; что необыкновенный пучок всегда бывает смещен в главном сечении; что при вращении кристалла необыкновенный пучок всегда вращается около обыкновенного, что оба пучка не расходятся, когда лучи падают на кристалл параллельно его оси, и что, следовательно, при двойном преломлении тепловые лучи ведут себя совершенно так же, как световые лучи.

¹ „Über die Doppelbrechung der strahlenden Wärme“, „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 1.

64 ПОЛЯРИЗАЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ ТЕПЛОТЫ

Для того чтобы исследовать *поляризацию теплоты при отражении*, Кноблаух ¹ брал для своего гелиостата зеркало из черного стекла или же стальное. У стекла, он нашел угол поляризации теплоты почти равным углу для света; при стальном же зеркале максимум отражения получался, когда падающие пучки составляли с поверхностью зеркала угол в 15°.

Поляризацию теплоты при простом преломлении ², доказанную ранее Меллони и Форбсом при посредстве слюдяной пластинки, Кноблаух установил также при помощи стеклянных пластинок. Точно так же он исследовал непосредственно *поляризацию теплоты*, происходящую *при двойном преломлении* ³. Во всех этих случаях выведенные законы оказались применимыми к тепловым лучам в такой же мере, как к световым.

Дифракцию тепловых лучей Кноблаух ⁴ определил не только *качественно*, но и *количественно*. Непосредственно измеряя своим линейным термостолбиком распространение тепловых лучей, после их прохождения через узкую щель, на различных расстояниях и при различной ширине щели, он нашел, что это распространение всегда превышает то, которое соответствовало бы прямолинейному очертанию его границ; что оно тем значительнее, чем уже щель, через которую прошли тепловые лучи, чем больше расстояние щели от термоскопа и чем больше ее расстояние от источника тепла. Кноблаух, в прежних своих работах всегда с полным признанием упоминавший предшествующие исследования Меллони, Форбса и др., по отношению к дифракции определенно оставляет за собою полное право на первенство. Правда, Физо и Фуко уже в 1847 г. ⁵ наблюдали в тени теплопрозрачного тела место с повышенной температурой, ограниченное двумя местами пониженной температуры; но он, Кноблаух, доложил соответствующие результаты своей работы Физическому обществу в Берлине еще 7 августа 1846 г., а до этого времени не было опубликовано ни одного прямого наблюдения дифракции теплоты, ни одного опыта, из которого можно было бы хотя бы косвенно заключить о существовании тепловой дифракции ⁶.

¹ „Über die Polarisation der strahlenden Wärme durch Reflexion“, „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 161.

² „Über die Polaris, d. Wärme durch einfache Brechung“, „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 170.

³ „Über die Polaris, d. Wärme durch Doppelbrechung“, „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 177.

⁴ „Über die Beugung der strahlenden Wärme“, „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 9.

⁵ „Comptes rendus“, XXV, стр. 447, 1847; „Pogg. Ann.“, XXIII, стр. 462. Точно так же при *френелееских зеркалах* и при хроматической поляризации с помощью тонких пластинок Фуко и Физо нашли для интенсивности тепла совершенно такое же распределение, как для интенсивности света. На основании совместных опытов Физо уже в декабре 1847 г. вычислил длины волн некоторых инфракрасных лучей спектра, которые оказались равными 0,001101, 0,001196, 0,001320, 0,001448, 0,001745 и 0,001940 мм.

⁶ „За исключением одного только опыта Маттеуччи („Bibl. Universelle“, L, стр. 1, 1834 и LVII, стр. 74; также „Pogg. Ann.“, XX, стр. 462 и XXXV, стр. 558) над тепловой интерференцией, который, однако, согласно мнению физиков, ознакомившихся с этими исследованиями, не заслуживает никакого дове-

ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛА 65

С работами Меллони и Кноблауха совпали во многих отношениях исследования Десена и де-ля-Провостэ над лучистой теплотой, опубликованные ими в это же время. К работам прежних исследователей они прибавили несколько своих открытий. Так, например, в 1849 г. они показали, что *магнит вращает плоскость поляризации тепловых лучей совершенно так же, как световых*¹. Так как в это время в теоретической оптике особенно усердно занимались вопросом о связи между излучением, передачей и поглощением, то оба исследователя занялись после этого изучением тепловых лучей в этом отношении. В другой работе от того же 1849 г.² они установили, что закон «квадратов синусов Малюса, касающийся интенсивности поляризованного света, измененного преломлением или отражением, одинаково применим как к свету, так и к теплу; что формулы Френеля для интенсивности света, прошедшего через прозрачные тела, и для отраженного света остаются верными и для лучистой теплоты и, наконец, что даже законы металлического отражения одинаковы для теплоты и света. В более обширной работе следующего года³, ввиду невозможности достаточно точного измерения интенсивности света, эти исследователи постарались подтвердить формулы Френеля для отражения и преломления сначала на тепловых лучах, а потом уже, с помощью возможно более точных исследований, и на световых лучах и при этом получили ожидавшиеся результаты. Вслед за этим они обратились к проблеме поглощения тепла⁴, разложив ее притом на три отдельные задачи, а именно: во-первых, разрешение вопроса о том, существует ли равенство или пропорциональность между излучательной и поглощательной способностью тепла в телах; во-вторых, исследование зависимости поглощательной способности от рода падающих тепловых лучей и, в-третьих, измерение абсолютной величины поглощения.

Так как последняя задача до того времени была только один раз затронута Лесли, то они начали с нее. До сих пор Десен и Провостэ находились в полном согласии с прочими работниками в той же области; но здесь, в этой трудной области, где речь шла о переносе движений эфира на весомую материю, они впали в большое разноречие со своими предшественниками. Меллони нашел, что каменная соль пропускает одинаково хорошо все тепловые лучи, объяснив незначительные потери тепла при прохождении лучей через соль небольшим диффузным их отражением. Еще в 1853 г. он снова высказал ту же мысль: «Итак, действительно существует такая твердая среда, которая пропускает все виды тепловых лучей с одинаковой легкостью»⁵. В противовес этому Десен и Провостэ пришли к тому выводу⁶, что

рия, — до 1846 г. не было известно ни единого такого наблюдения, из которого можно было бы косвенно сделать заключение о данном явлении".

¹ „Comptes rendus", XXIX, стр. 352.

² Там же, стр. 121.

³ „Ann. de chim. et de phys." (3), XXX, стр. 159, 1850.

⁴ Там же (3), XXX, стр. 431, 1850.

⁵ „Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 84, 1853.

⁶ „Comptes rendus", XXXII, стр. 168, 1853. Frédéric Hervé de la Provostaye (1812—1863)— инспектор училища. Paul Quentin Desains (1817—1885)— профессор физики в Сорбонне.

66 ТЕПЛОПРОЗРАЧНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

поглощение каменной солью светлых тепловых лучей действительно незаметно, но для темных лучей оно доходит до вполне ощутимой величины 0,08 — 0,09. В следующем году Меллони умер, поэтому полемика на время затихла, но затем она снова возобновилась. В 1863 г. Кноблаух¹ присоединился к мнению Меллони, утверждая, что совершенно чистая каменная соль одинаково пропускает все лучи, т. е. вполне теплопрозрачна. Магнус² уже в 1869 г. опять пришел к иному выводу, что каменная соль монотермична, подобно тому как пары ее монохроматичны; другими словами, что, будучи нагрета, эта соль испускает только один вид тепловых лучей, а потому по закону равенства излучения и поглощения она должна поглощать только этот вид лучей. Таким образом, большая теплопрозрачность каменной соли объясняется не тем, что она обладает ничтожно малой поглощательной способностью, а тем ее свойством, что она поглощает только определенный род лучей и что именно эти лучи большинством тел, при обыкновенном их нагревании, не испускаются. Кноблаух на основании новых своих опытов решительно не согласился с этим мнением Магнуса³, и на этом вопрос остался пока неразрешенным; представляется вероятным, что как опыты Кноблауха, так и опыты Магнуса содержали в себе значительные источники ошибок.

Исследования по лучистой теплоте содержат в себе много характерного. Исходя из идеи о тождестве светового и теплового эфира, можно было бы легко вывести все общие их свойства из волновой теории лучистой теплоты и из вытекающего отсюда понятия тепловых цветов. Но так как эта гипотеза не была еще достаточно твердо обоснована⁴, то методически было совершенно правильно установить указанные свойства тепловых лучей только на основании опыта, пользуясь при этом гипотезой тепловых цветов лишь как руководящей идеей, которую, и следовало проверить затем на основании полученных результатов. В этом смысле данные исследования всегда представляли большой *теоретический интерес*, хотя они и не обещали ничего особенно нового или поразительного. Но после того как в сороковых годах на основании этих именно исследований было признано тождество светового и теплового эфира, эти работы, конечно, утратили этот общий

¹ „Pogg. Ann.", CXX, стр. 177, 1863.

² Там же, CXXXVIII, стр. 333, 1869.

³ Там же, CXXXIX, стр. 150, 1870.

⁴ В „Fortschritten der Physik im Jahre 1846" (издании Берлинского физического общества) в отзыве о работе Лорана встречается (т. II, стр. 166) следующее место: „Она построена на недостаточно еще твердо установленной гипотезе, что свет и лучистая теплота вызываются движениями в одной и той же среде". Наоборот, Меллони на основании своих опытов уже в 1842 г. пришел к убеждению о тождестве светового и теплового эфира, хотя раньше он считал этот вопрос еще под сомнением (см. 1-й выпуск этой части). Он говорит („О тождестве различных световых, тепловых и химически действующих лучей, „Comptes rendus", XV, стр. 454; „Pogg. Ann.", VII, стр. 300): „Свет, тепло и химическое действие суть проявления колебаний эфира, составляющих солнечные лучи... Правда, световые лучи отличаются от всех других своею видимостью, но это свойство проистекает из чисто случайного качества... Теплота, возникающая в телах, на которые попадают эти лучи, заключается в известной величине движения, сообщаемого весомым массам колебаниями эфира".

ТЕПЛОПРОЗРАЧНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ 67

интерес. Но зато теперь на первый план выступила задача определить *тепловые цвета* в отдельности для различных тел и, прежде всего для жидкостей и газов, точнее исследовать их *поглощательную способность* по отношению к теплоте, так как от этой способности в основном зависят тепловые цвета, а для ее исследования в этом направлении до того времени было еще сделано очень мало. Поэтому в 1855 г. Р. Франц опубликовал ряд работ по вопросу о теплопрозрачности цветных жидкостей ¹. В 1862 г. Тиндаль *открыл большую прозрачность для темных тепловых лучей раствора йода в сернистом углероде* ²; Баретт *нашел то же для хлороуглерода*. Более трудными вследствие незначительности своего действия, но особенно важными по своему значению ввиду влияния земной атмосферы на солнечные лучи были исследования над *теплопрозрачностью газов*. Р. Франц опубликовал подобные измерения в вышеупомянутых своих работах, но более детальным точным изучением этого вопроса мы обязаны работам Тиндаля ³ и Магнуса ⁴, хотя в полученных ими результатах тоже встречаются многочисленные разногласия, порою даже прямые противоречия. Но, во всяком случае, оба эти физика одинаково установили, что *поглощение тепла у простых газов очень мало* и что оно значительно возрастает только у сложных по своему составу газов. К числу разноречий принадлежит случай влажного воздуха: Тиндаль нашел, что последний поглощает тепло в значительной степени, по Магнусу же водяной пар почти вполне теплопрозрачен. Этот вопрос долгое время оставался неразрешенным, причем каждая из этих точек зрения находила своих защитников и противников; однако в конце концов Магнусу удалось доказать по меньшей мере вероятность предположения, что наблюдаемое Тиндалем поглощение тепла вызывалось не водяным паром, а тонким осадком водяных капель, образовавшимся на стенках прибора, который, конечно, очень сильно поглощает тепло ⁵.

Под влиянием той же идеи о тождестве световых и тепловых движений и, в частности, исходя из представления о поверхностях волн, стали также исследовать особенности *распространения тепла в кристаллизованных веществах*. С этой целью, А. де-Сенармон ⁶ стал изготовлять из исследуемых кристаллов тонкие, большей частью круглой формы пластинки равной толщины, вырезанные параллельно кристаллографическим осям. Через отверстие в середине пластинок проходила

¹ „Pogg. Ann.", XCIV, стр. 377 и CI, стр. 46. R. Franz (родился в 1827 г.) — преподаватель гимназии в Берлине.

² Там же, CXXIV, стр. 36.

³ „Philosophical Magazine" (4), XXII, стр. 377; XXV, стр. 203; XXVI, стр. 36; XXXII, стр. 118; „Pogg. Ann.", CXIII, стр. 1; CXIV, стр. 632; CXVI, стр. 1 и 289.

⁴ „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 635; CXVIII, стр. 575; CXXI, стр. 174 и 186; наконец, CXXX, стр. 207.

⁵ Г. Вильд (H. Wild, „Pogg. Ann.", CXXIX, стр. 57) на основании опытов, произведенных по методу Тиндаля, пришел к тем же результатам, что и последний. Г. Буфф (H. Buff, „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 205) на основании собственных опытов пришел к тем же результатам, что и Магнус.

⁶ „Comptes rendus", XXV, стр. 459 и 707, 1847; „Ann. de chim. et de phys." (3), XXI, стр. 457 и XXII, стр. 179; „Pogg. Ann.", LXXIII, стр. 191; LXXIV, стр. 190; XXV, стр. 50 и 482, 1848.

68 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ

серебряная трубочка, через которую пропусклся нагретый воздух. Поверхности пластинок покрывались воском; таяние воска и указывало на ход тепла. Исследовав большое количество тел, Сенармон пришел к следующим выводам: 1) во всех кристаллах правильной системы тепло проводится по всем направлениям одинаково; изотермическими поверхностями здесь являются шаровые поверхности; 2) во всех кристаллах II и VI систем теплопроводность в направлении кристаллографической оси имеет максимальное или минимальное значение, во всех же прочих направлениях она одинакова; здесь изотермические поверхности имеют вид поверхностей эллипсоидов вращения, удлинённых или приплюснутых по направлению оси симметрии; 3) в кристаллах III системы изотермические поверхности образуют неравноосные эллипсоиды, оси которых совпадают с ребрами прямоугольной призмы; 4) во всех кристаллах IV системы повторяется то же самое, но только здесь одна из осей параллельна кристаллографической оси, положение же другой оси не может быть наперед определено; 5) в кристаллах V системы изотермы суть поверхности неравноосных эллипсоидов, положение осей которых не может быть определено на основании какого бы то ни было априорного закона. Вскоре затем Сенармон показал, что и подвергнутые сжатию стекла ведут себя в смысле теплопроводности как кристаллы. Результаты, полученные Сенармоном, были тотчас же подтверждены Био и Дюгамелем, членами комиссии, назначенной для рассмотрения его работы ¹, а также Кноблаухом ² и др. Позднее Э. Жаннета ³ и Ф. Ланг ⁴ еще показали, что в одноосных кристаллах почти всегда оптические поверхности волн и изотермические поверхности настолько соответствуют друг другу, что кристаллы одновременно бывают оптически и термически либо положительными, либо отрицательными.

Сам Сенармон по поводу найденного им соответствия между положениями оптических осей и теплопроводностью говорит следующее: *«Являются ли эти аналогии только кажущимися, обязанными своим происхождением лишь симметрии форм, без всякой иной первоначальной связи между явлениями, или же они являются следствиями одного и того же закона, в котором варьируют лишь постоянные? Вот вопросы, на которые нельзя ответить в настоящее время. Но как бы там ни было, следует уже теперь считать вполне доказанным, что коэффициенты проводимости, упругости, расширения и преломления изменяются в кристаллических средах в зависимости от направления; не менее ясно, что молекулярное строение тел производит на эти различные группы явлений влияния одного и того же порядка, которые, вероятно, было бы очень легко связать ⁵ между собой, если бы мы знали законы этого строения».*

¹ „Comptes rendus“, XXV, стр. 829.

² „Pogg. Ann.“, XCIII, стр. 161, 1854.

³ „Ann. de chim. et de phys.“ (4), XXIX, стр. 5, 1873.

⁴ „Pogg. Ann.“, CXXXV, стр. 29, 1868.

⁵ „Pogg. Ann.“, LXXV, стр. 498—499 и 500—501, 1848. Henri Hureau de Sénarmont (1808—1862)—профессор минералогии в École des Mines и экзаменатор физики в Парижской политехнической школе.

ОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛА ПРИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ 69

Возникновение новых воззрений на сущность силы выразилось, между прочим, в это время в многообразных попытках определить *количество тепла, образующегося при известных химических соединениях*, и, таким образом, косвенно свести химические силы к определенной мере. Для получения работы на земле мы пользуемся только тремя источниками силы: живую силою текучей воды и движущегося воздуха, химическими силами горючих органических тел и мускульной силой живых существ. Силы первого рода были исследованы с давних пор, и их действие было известно, но силами второго и третьего рода физикам, интересовавшимся вопросом о сохранении энергии, следовало еще особо и внимательно заняться. К исследованию теплоты, развивающейся при химических процессах, побуждала, кроме того, и *практическая важность этих тепловых источников*. Из этих последних побуждений уже Лавуазье, Крауфорд, Румфорд, Дальтон и другие сжигали определенные количества горючих веществ в калориметрах и, таким образом, измеряли теплоту их сгорания, но, преследуя чисто практические цели, они не столько занимались измерениями абсолютных количеств тепла, сколько установлением относительных их количеств, определением наилучшего горючего материала ¹. Более точные результаты были получены лишь Дюлонгом ² в 1838 г., а затем, спустя десятилетие, — Эндрюсом ³, Фавром и Зильберманом ⁴, которые стали выражать точно, в тепловых единицах, количества теплоты, получавшиеся при соединении определенных весов или определенных объемов веществ. Все полученные ими результаты очень сильно расходились между собою, но этих расхождений было трудно избежать при значительности источни-

¹ По поводу этих старых работ — см. *Gehler, Physikalisches Wörterbuch*, 2 издание, X, стр. 236—396.

² „Comptes rendus”, VII, стр. 871, 1838 г. (посмертная статья); „Pogg. Ann.”, XLV, стр. 461.

³ Выделение теплоты при соединении кислот и оснований, „Trans. Irish Acad.”, XIX, 1843; „Pogg. Ann.”, LIV, стр. 208; то же — при получении металлического хлора, брома и йода, „Trans. Irish Acad.”, XIX; „Pogg. Ann.”, LIX, стр. 428; температурные изменения при замещении оснований, „Phil. Trans.”, стр. 21, 1844; „Pogg. Ann.”, LXVI, стр. 31; образование теплоты при соединении тел с кислородом и хлором, „Philosophical Magazine”, XXXII; „Pogg. Ann.”, LXXV, стр. 27 и 244; образование теплоты при замещении металлов, „Phil. Trans.”, 1848, стр. 91; „Pogg. Ann.”, LXXXI, стр. 73.

⁴ „Recherches sur les quantités de chaleur d'égagées dans les actions chimiques et moléculaires”, „Ann. de chim. et de phys.” (3), XXXIV, стр. 357 и XXXVI, стр. 5, 1852; XXXVII, стр. 406, 1853. Также в „Comptes rendus”, XX, стр. 1565; XXI, стр. 944; XXVI, стр. 595; XXVII, стр. 56; XXVIII, стр. 627; XXIX, стр. 449. В „Comptes rendus”, XXVIII, стр. 666, 1848, комиссия Парижской академии наук (Реньо, Дюма, Пулье и Гэ-Люссак) сообщает, что на тему „Теория теплоты, выделяющейся при химических соединениях” поступило 6 работ, из которых, однако, ни одна не заслуживает большой премии. Фавр и Зильберман получили за свои работы 1500 фр., а за мемуар (Эндрюса), который уже был напечатан в „Trans. Irish Acad.”, было выплачено 1000 фр. Thomas Andrews (1813—1885) — сначала практический врач, потом профессор химии в Queen's College в Белфасте. Pierre-Antoine Favre (1813—1880) произвел приведенные выше работы вместе со своим ассистентом Зильберманом в Париже в Conservatoire des Arts-et-Métiers, потом был профессором химии при медицинском факультете в Париже и, наконец, профессором химии в Марселе. Johann Theobald Silbermann (1806—1865), — хранитель музея Conservatoire des Arts-et-Métiers в Париже.

70 ЖИВОТНАЯ ТЕПЛОТА

ков ошибок в их приборах. Кроме того, ни один из этих опытов не давал возможности, хотя бы приближенно, определять ту долю химической силы, которая шла не на повышение температуры, а на *внутреннюю работу*. Поэтому полученные ими числа, хотя в отдельности и представляли известную ценность, но не могли привести к общим надежным заключениям о количественной стороне превращений, о связи между химическими силами и теплом. То же самое, хотя в более ограниченной степени, следует сказать и об обширных работах И. Томсена¹ и М. Бертело², охватывающих всю область термохимии. Так, установленное уже в 1840 г. Гессом и соответствующее закону сохранения энергии положение, согласно которому *«количество тепла, соответствующее какому-либо химическому процессу, остается неизменным, независимо от того, протекает ли этот процесс отдельными фазами или же сразу»*, было подтверждено эмпирически и объяснено теоретически. Однако идущее дальше этого положение Бертело, согласно которому *каждое химическое превращение, совершающееся без посредства посторонней энергии, стремится к образованию такого тела или такой системы тел, для которых количество образующегося тепла является максимальным*, нельзя было считать вполне обеспеченным от многочисленных возражений.

Эта невыясненность вопроса о теплоте, выделяющейся при химических процессах, отразилась и на исследованиях *источников мускульной силы у животных и человека*. Согласно закону сохранения силы животная теплота, как и работоспособность животных, должны происходить из одного и того же источника — из пищи животных. Однако для точного сравнения действующих здесь причин и вызываемых ими действий недоставало еще опытных основ, измерения механической работоспособности животных, определения развиваемого ими количества тепла и, наконец, установления термических эквивалентов принятой пищи. Поэтому основоположники закона сохранения энергии могли лишь обосновать вероятную применимость этого закона к органическому миру, но не имели возможности этого твердо доказать; поэтому-то физиология дольше, чем какая-либо иная дисциплина, представляла собою поле для самых фантастических суждений по вопросу об образовании тепла и мышечной силы. Дюлонг³ около 1815 г. вычислил количество теплоты, исходя из продуктов дыхания, и получил лишь 0,723 тепла, наблюдаемого в теле. Депре⁴ в 1823 г. получил вместо этого числа — 0,811. Гельмгольц еще в 1847 г. констатировал, что полученные до того времени результаты дают для первого количества теплоты величину, на $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ меньшую второй величины. Но при

¹ „Thermochemische Untersuchungen“, 4 тома. Leipzig; также „Pogg. Ann.“, начиная с LXXXVIII, 1853, в ряде статей. Hans Peter Jorgen Thomsen (родился в 1826 г.) — профессор химии в Копенгагене.

² „Mécanique chimique fondée sur la Thermochimie“, 2 тома, Paris 1879; также в „Ann. de chim. et de phys.“ (4) в ряде статей, начиная с тома VI, 1865.— Marcellin Pierre Eugène Berthelot (1827—1907)—знаменитый французский химик, профессор химии в Париже.

³ „Ann. de chim. et de phys.“, I, 1816.

⁴ Там же, XXVI, 1824; увенчано Парижской академией наук в 1823 г. César Mansuète Despretz (1792—1863) — профессор физики в Сорбонне.

ОПЫТЫ РЕНЬО 71

этом Гельмгольц отметил, что исчисленные величины теплоты сгорания продуктов дыхания, во всяком случае, не соответствуют в точности тепловым эквивалентам принятой пищи, что противоречие этих результатов началу сохранения энергии может быть лишь кажущимся и что эти результаты, при незначительности указанного расхождения, скорее можно рассматривать как подтверждение упомянутого начала ¹.

На это же время приходится и весьма совершенные с экспериментальной стороны, выполненные Реньо *измерения тепловых постоянных, удельной теплоемкости, теплоты плавления и теплоты испарения, упругости газов и паров при различных температурах и т. д.*, — измерения, важные не столько в теоретическом, сколько в практическом отношении. Однако согласно общему духу и специальному плану нашей работы мы не можем здесь входить в подробное описание измерений Реньо, хотя они и с методической стороны интересны и чрезвычайно поучительны. Мы ограничимся лишь указанием большого сборника его работ, в котором Реньо собрал все свои прежние важнейшие физические исследования, и который до настоящего времени рассматривается физиками как официальный источник для большинства постоянных в учении о теплоте. Сборник этот носит заглавие: «Relation des expériences entreprises par ordre de M. le Ministre des Travaux publics et sur la proposition de la Commission centrale de machines à vapeur, pour déterminer les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur» («Сообщение об опытах, предпринятых по распоряжению министра общественных работ и по предложению центральной комиссии паровых машин, для определения основных законов и численных величин, входящих в исчисление паровых машин»). Он появился в двух частях, в XXI и XXVI тт. Мемуаров Парижской академии наук за 1847 и 1862 гг.

Первый отдел включает в себя на 760 страницах десять следующих, большую часть уже ранее опубликованных статей: 1) «Sur la dilatation des fluides élastiques» ² («О расширении упругих жидкостей»); 2) «Sur la détermination de la densité des gaz» ³ («Об определении плотности газов»); 3) «Détermination du poids du litre d'air et de la densité du mercure» ⁴ («Определение веса литра воздуха и плотности ртути»); 4) «De la mesure des températures» ⁵ («Об измерении температур»); 5) «De la dilatation absolue du mercure» («Об абсолютном расширении ртути»); 6) «Sur la loi de la compressibilité des fluides

¹ „Die Fortschritte der Physlk im Jahre 1845", I, стр. 353; „Über die Erhaltung der Kraft", стр. 70, 1847.

² „Ann. de chim. et de phys." (3), IV и V, 1842; „Pogg. Ann.", LV, стр. 391 и 557; LVII, стр. 115.

³ „Ann. de chim. et de phys." (3), XIV, 1845 г.; „Pogg. Ann.", LXV, стр. 395.

⁴ «Pogg. Ann.", LXXIV, стр. 202. 1 л атмосф. воздуха при 0° С и 760 мм давления весит 1,293187 г.

⁵ Частично в „Pogg. Ann.", VII, стр. 199. Водород и углекислота в интервале от 0 до 350° следуют закону расширения и потому дают наиболее совершенные термометры; ртуть расширяется не столь равномерно. Термоэлектрические приборы совсем не годятся для измерения температур, так как 1° тепла дает в зависимости от температуры совершенно различную электродвижущую силу.

72 ОПЫТЫ РЕНЬО

élastiques»¹ («О законе сжимаемости упругих жидкостей»); 7) «De la compressibilité des liquides et en particulier de celle du mercure» («О сжимаемости жидкостей и в частности — ртути»); 8) «Des forces élastiques de la vapeur d'eau aux différentes températures»² («Об упругих силах водяного пара при различных температурах»); 9) «Sur la chaleur latente de la vapeur aqueuse á saturation sous diverses pressions»³ («О скрытой теплоте насыщенного водяного пара при различных давлениях»); 10) «Sur la chaleur spécifique de l'eau liquide aux diverses températures»⁴ («Об удельной теплоемкости воды при различных температурах»). Вторая часть на 915 страницах содержит следующие три исследования: 1) «Mémoire sur la chaleur spécifique des fluides élastiques» («Об удельной теплоемкости упругих жидкостей»); 2) «Mémoire sur les forces élastiques des vapeurs» («Об упругих силах пара»); 3) «Mémoire sur les chaleurs latentes des vapeurs sous diverses pressions» («О скрытой теплоте паров под различными давлениями»).

После этих больших работ Реньо еще раз вернулся к вопросу о расширении газов и в работе, представленной Парижской академии наук 11 октября 1869 г., отдельные части которой относятся, впрочем, еще к началу 50-х годов, определил теплоту, затрачиваемую или выделяемую газом при изменениях его объема. При этом на основании своих опытов он пришел к вполне обоснованному выводу, что многие тепловые действия, приписываемые обычно трению или же испарению, вызываются в большей мере изменениями объема тела, причем, прежде всего, указал на нагревание огнестрельных орудий и замерзание вытекающей жидкой угольной кислоты⁵.

В это же время обратила на себя вновь большое внимание другая очень старая проблема из учения о теплоте, не столько в силу ее отно-

¹ „Comptes rendus“, XXIII, стр. 787; „Pogg. Ann.“, LXVII, стр. 534. Закон Мариотта для постоянных газов тоже не вполне точен; так, например, для

$$\frac{V_0 : V_1}{P_1 : P_0}$$

атмосферного воздуха больше, а для водорода меньше единицы.

² „Ann. de chim. et de phys.“ (3), XI; „Pogg. Ann.“, LXV, стр. 360; дополнительный том II, стр. 119. Для того чтобы получить эмпирическую (интерполяционную) формулу для вычисления упругости, Реньо, следуя предложению Био, принимает упругость пропорциональной сумме $a^t + b^t$. Магнус („Pogg. Ann.“, LXI, стр. 225, 1844 г.) для той же цели применяет предложенную уже Августом (там же, XIII,

стр. 122) и Штрельке (там же, LVIII, стр. 334) формулу $e = ab^{\frac{t}{\gamma+t}}$ и

находит $e = 4,525 \text{ мм} \cdot 10^{\frac{7,4475t}{231,69+t}}$. Гольцман дает („Pogg. Ann.“, LXVII, стр.

$$\log \frac{P}{P_0} = \frac{5,2555t}{336,22+t}$$

382) формулу, которая близко подходит к магнусовской формуле и которую он защищает против Реньо. „Fortschritte der Physik im Jahre 1845“ (т. I, стр. 90—98) определяют число формул, предложенных для исчисления упругости водяного пара, solidным числом 40.

³ „Pogg. Ann“, XXVIII, стр. 196 и 523. Скрытая теплота водяного пара не является постоянной величиной; ее следует положить равной $606,5 + 0,305t$.

⁴ „Pogg. Ann.“, LXXIX, стр. 241.

⁵ „Comptes rendus“, LXIX, стр. 780, 1869. Henri Victor Regnault (1810—1878)— профессор физики и химии в Париже и директор Севрской фарфоровой фабрики.

ЯВЛЕНИЕ ЛЕЙДЕНФРОСТА 73

шения к тогдашнему ходу научного развития, сколько благодаря ревности и энтузиазму, внесенному в нее одним физиком, который, правда, нашел себе поддержку во вновь воскресшем интересе ко всем проблемам теории теплоты. Речь идет о так называемом *опыте Лейденфроста*. После самого Лейденфроста тем же явлением занимались многие физики, как Цинглер, Ламберт, Кастнер и особенно детально Клапрот, которые, однако, пришли только к тому отрицательному результату, что скорость испарения не находится, как это принимал Лейденфрост, в отношении обратной пропорциональности к температуре. Объяснение этого явления дал впервые Румфорд¹, указавший, что теплота, попадающая на каплю, частью отражается от ее гладкой поверхности, частью же проходит через каплю без всякого поглощения. Он же впервые показал, что температура капли невысока, вылив из раскаленного тигля каплю себе на руку, причем тепло, правда, ощущалось, но ожога не вызывало. Дэберейнер², доведя каплю в тигле до размера лесного ореха, погрузил в нее термометр и нашел ее температуру от 99 до 101° С, что, конечно, выше действительной, так как предохранить термометр от прямого лучеиспускания со стороны стенок тигля было невозможно. Такая сравнительно низкая температура сделала вполне понятной медленность ее испарения, форму же капли Дж. Перкинс объяснил главным образом отталкивательной силой теплоты. К такому заключению он был приведен интересным наблюдением, сделанным в 1827 г.³ В машине высокого давления лопнул с большим шумом котел, и, тем не менее, машина продолжала безостановочно работать. Лишь после того как топку погасили, и котел охладился, вода со страшным шипением устремилась из него через трещину. Отсюда Перкинс сделал вывод, что сильно нагретый металл, благодаря отталкивательной силе тепла, отталкивает от себя воду и даже водяной пар, по меньшей мере, на расстояние $\frac{1}{16}$ дюйма, так что они не соприкасаются друг с другом. К подобному же заключению об отталкивательном действии теплорода на весомую материю раньше Перкинса пришел Либри, который наблюдал, что на накаленной металлической проволоке капля удаляется от накаливаемого места. Однако вскоре пришли к убеждению, что данное явление, равно как и все подобные, объясняется не отталкивательной силой теплорода, но скорее действием течения образующегося пара. В силу этого мысль об отталкивательном действии теплоты на расстоянии была почти оставлена, по крайней мере, по отношению к явлению Лейденфроста, и шарообразную форму капли стали объяснять тем, что теплота не только ослабляет сцепление между частицами в телах, но еще в большей степени — сцепление между водою и стенками тигля, вследствие чего сцепление между частицами воды проявляется беспрепятственно, и капля принимает форму шара⁴.

¹ „Mém. sur la chaleur", Paris 1804, стр. 93; „Gilbert's Ann.", XVII, стр. 33, 1804.

² „Schwelgger's Journal", XXIX, стр. 43, 1820; „Gilbert's Ann.", LXXII, стр. 211. [oh. Wolfg. Döbereiner (1780 — 1849) — профессор химии в Йене.

³ „Pogg. Ann.", XII, стр. 316, 1827. Яс. Perkins (1766—1849) — гражданский инженер в Лондоне.

⁴ Какие надежды возлагались на это открытие, т. е. на прекращение прилипания (или притяжения между телами), можно видеть из следующих слов

74 СФЕРОИДАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ

Такое объяснение давало, во всяком случае, возможность понять образование капли в тигле; но зато вновь возникли сомнения относительно причины ее низкой температуры. Бодримон¹ высказал предположение, что пар поднимает жидкость в тигле, а притекающая к ней лучистая теплота нейтрализуется охлаждением, вызываемым испарением, Н. В. Фишеру показалось², будто жидкость в раскаленном тигле не только испаряется, но и разлагается химически, и он высказал предположение, что вся притекающая к капле теплота идет на это разложение.

Несмотря на все это, Бутиньи³ в 1840 г. снова пришел к убеждению, что все предположенные до того времени объяснения явления Лейденфроста недостаточны. Бутиньи сам сделал много новых и интересных наблюдений и сильно расширил круг наших знаний в области этих явлений. Бутиньи показал, что явление Лейденфроста наблюдается, кроме воды, и на многих других жидкостях, причем в некоторых случаях при гораздо более низких температурах, чем у воды⁴. Для последней эта температура соответствует 200°, для алкоголя только 134°, для сернистой кислоты 100°, а для эфира даже 61°. При этом температура самой сернистой кислоты держалась на —10°,5 С, так что при ее посредстве Бутиньи удалось заморозить воду в раскаленном тигле. Кроме того, это явление может быть воспроизведено не только на раскаленных металлических поверхностях, но и на жидкостях; так, например, с эфиром оно может быть получено на воде, ртути или на масле, если только нагреть последние до 54° С. Бутиньи признал невозможным объяснить все свои наблюдения только тремя известными агрегатными состояниями материи и счел необходимым для объяснения явления Лейденфроста допустить существование четвертого состояния, которое он назвал сфероидальным (*état sphéroïdal*). Это четвертое агрегатное состояние должно находиться между твердым и жидким состоянием и характеризоваться более значительной силой отталкивания на расстоянии, а также способностью целиком отражать теплоту; поэтому оно должно вызывать в телах особую силу сопротивления против внешних воздействий. «При помощи следующего опыта, — пишет Бутиньи в 1849 г.⁵, — я надеюсь доказать, что в сфероидальном состоянии тела бывают ограничены особым слоем вещества, который связывает молекулы таким образом, что его можно сравнить с твердой и прозрачной оболочкой бесконечно малой толщины и очень боль-

Берцелиуса („Ber. über d. Fortschr. d. Physik und Chemie", VI, стр. 26, 1826): „Если подтвердится, что тяготение тел друг к другу может быть каким-либо образом видоизменено температурой, то какие горизонты открываются для догадок об отношении между небесными телами и их относительными температурами".

¹ „Ann. de chim. et de phys." (2), XLI, стр. 319, 1836.

² „Pogg. Ann.", XIX, стр. 514 и XXI, стр. 163, 1830.

³ „Comptes rendus", X, стр. 397; „Pogg. Ann.", LI, стр. 130, 1840.

⁴ „Ann. de chim. et de phys." (3), IX, стр. 350. Также в „Comptes rendus", начиная с 1840 г., — в ряде статей. Последние собраны в сочинении „Études sur les corps à l'état sphéroïdal", 3 издание, Paris 1857.—Р. Н. Boutigny (1798—1884) — аптекарь в Эврэ. потом химик в Англии.

⁵ „Comptes rendus", XXIX, стр. 473, 1849.

ТЕОРИЯ СФЕРОИДАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ 75

шой упругости»¹. Надежным доказательством в пользу такого мнения он считает наблюдение, что вода, алкоголь и другие жидкости удерживаются на раскаленной спирали из платиновой проволоки, между тем как при обыкновенной температуре эти жидкости стекают со спирали. Однако Г. Буфф отверг это доказательство другими наблюдениями, согласно которым вода и при обыкновенной температуре удерживается на сетке из флера.

Поэтому физики сохранили название *«сфероидальное состояние»* как удачно выбранное, но едва ли кто-либо, кроме Бутины, связывал с ним представление об *особом агрегатном состоянии* материи. Наиболее вероятным считали предположение, что капля в сфероидальном состоянии лежит на собственных своих парах, вследствие чего прерывается прямое соприкосновение, а вместе с тем и непосредственная теплопроводность и сцепление между каплей и поверхностью, на которой она лежит, и частица жидкости, силою собственного свободно действующего сцепления, принимает форму капли. Чтобы доказать существование промежутка между каплей и ее основанием, Поггендорф² пропустил через тигель и жидкость гальванический ток и установил, что ток прерывается, как только жидкость приходит в сфероидальное состояние. В. Пьерр установил, что, во всяком случае, сопротивление в цепи достигает при этом огромных размеров. Тиндаль³ добился того, что можно было непосредственно видеть промежуток между каплей и тиглем; для этого он пускал каплю чернил на выпуклую поверхность раскаленного тигля и затем помещал между каплей и тиглем светящуюся раскаленную платиновую проволоку. Хотя при всем том незначительность теплопроводности между каплей и ее основанием оставалась загадочной, и некоторые другие стороны сфероидального состояния оставались все еще сомнительными и не вполне выясненными, но

¹ Там же, стр. 675, 1860. Здесь Бутины систематически избегает выражения сфероидальное состояние *жидкостей*", так как в этом состоянии материя уже не является жидкостью.

² „Pogg. Ann.", LII, стр. 539, 1841.

³ „Philosophical Magazine" (4), X, стр. 350, 1855. Буфф, который высказывался против существования промежутка между каплей и тиглем и пытался объяснить форму жидкости ослаблением сцепления, отнес результат опыта Поггендорфа за счет незначительности поверхности соприкосновения между тиглем и каплей. Но Ш. Кл. Персон уже в 1842 г. писал („Comptes rendus", XV, стр. 492; „Pogg. Ann.", LVII, стр. 292): „Я придумал прибор, при помощи которого можно смотреть сквозь промежуток между поверхностью и жидкостью. Промежуток этот составляет незначительную долю миллиметра; можно заметить, что в зависимости от температуры он то расширяется, то суживается" (стр. 293). Иос. Бергер (преподаватель во Франкфурте-на-Майне), на основании обширных экспериментальных исследований, дает в 1863 г. такое определение („Pogg. Ann.", CXIX, стр. 594):

„Тело в сфероидальном состоянии есть такое тело (испаряющееся или газообразующее), к которому теплота притекает через его собственный пар (или газ)... Поэтому приток тепла ограничен, испарение происходит только с поверхности, и настоящее кипение становится невозможным... Сфероидальное состояние исчезает, как только упругость пара становится недостаточной для того, чтобы воспрепятствовать непосредственному соприкосновению и передаче тепла между телом, вызывающим и принимающим сфероидальное состояние" (стр. 636).

76 МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ ДЖОУЛЯ

вследствие безрезультатности дальнейших исследований интерес к этому явлению постепенно ослабел, и со времени 60-х годов в данной области уже не сделано ничего достойного упоминания¹.

Все перечисленные до сих пор исследования по теплоте более или менее отвлекались от умозрений по вопросу *о сущности теплоты* в телах, а собственное развитие их не приводило к этому вопросу. Иное представляли собой все те работы, которые были посвящены исследованию *механических действий* тепла, в особенности определению *механического эквивалента теплоты*. Уже для первых исследователей, открывших механический эквивалент, было ясно, что то, что может быть неограниченно превращено в механическую работу, ни в коем случае не может быть веществом, а должно быть тоже рассматриваемо как некоторое явление движения, и что, следовательно, представление Карно о силе тепла как о силе некоего потока с известным падением должно быть оставлено и переход тепла из одного тела в другое следует рассматривать только как передачу движения. Однако это заключение давало лишь фундамент для теории теплоты, самое же здание предстояло еще построить. В самом деле, если даже и было признано, что теплота есть движение, оставалось еще решить, что именно движется в нагретом теле, заключенный ли в нем эфир или же частица самого весомого вещества, и каков вид этого движения. Открытие механического эквивалента теплоты несколько не уменьшило трудностей этих задач и поэтому понятно, что новая теория теплоты могла развиваться лишь медленно.

Майер мало занимался вопросами теории теплоты, — в этой области Джоуль с его склонностью к более ограниченному кругу вопросов сделал несравненно больше. Выше было уже отмечено, что в своей работе *«О тепловых действиях магнитоэлектричества»* он пришел к убеждению, что теплота, развиваемая током, *не переносится только из одной части прибора в другую, а действительно развивается* в соответствующей части проводника тока. В прибавлении к этой работе² он даже идет дальше, утверждая, *что теплота, развивающаяся при химических соединениях, определяется «силою, затрачиваемой при падении атомов»*; что скрытую теплоту можно сравнить с заведенною часовою пружиною и что водород и кислород, если бы их можно было соединить в жидком виде, дали бы при соединении меньшие теплоты, чем при их соединении в газообразном состоянии, так как в первом случае *«атомам пришлось бы пробегать при соединении меньшие пространства»*. В прибавлении к следующей работе *«О развитии тепла при электролизе воды»*³ он считает *теплоту плавления* механической силой, необходимой для преодоления сцепления между частицами твердого тела,

¹ Хотя сфероидальное состояние само по себе еще не было вполне объяснено, тем не менее, оно было использовано для объяснения других загадочных явлений. Так, взрывы паровых котлов, безнаказанное погружение руки в расплавленный металл и другие явления удачно связали со сфероидальным состоянием.

² „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 38—40.

³ „Mem. of the Lit. and Phil. Soc. of Manchester" (2), VII, стр. 87. Прибавление датировано 20 февраля 1844 г. „Das mechanische Wärmeäquivalent", стр. 53—55.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ ДЖОУЛЯ 77

а теплоту испарения эквивалентом силы, необходимой для преодоления связи между частицами жидкости, а также атмосферного давления. Для того чтобы создать, как он выражается, теорию теплоты, более естественную, чем волновая гипотеза, он обращается к гипотезе Фарадея, согласно которой все атомы окружены равными количествами электричества, и допускает, что все эти электрические, атмосферы вращаются с очень большою скоростью вокруг своих атомов. Тогда момент атмосфер соответствует количеству тепла, а скорость наружных слоев — температуре. Таких же воззрений придерживается Джоуль в своей работе «Об изменениях температуры путем разрежения и сжатия воздуха», прибавляя только, что для объяснения лучистой теплоты необходимо еще допустить, что вращающиеся электрические атмосферы обладают способностью, в зависимости от обстоятельств, возбуждать в эфире в большей или меньшей степени изохронные волнообразные движения. Вместе с тем он указывает на невозможность сохранить теорию паровых машин Карно и Клапейрона, «так как она приводит к заключению, что при нецелесообразном устройстве приборов живая сила может быть уничтожена». Работу способно производить не падение теплоты от более теплого тела к более холодному, равным образом и тепло, освобождающееся в конденсаторе, не может быть равно теплу, сообщенному котлу очагом, — первое должно быть меньше второго, и именно в точном соотношении с эквивалентом произведенной механической силы.

Эти воззрения Джоуля на сущность тепла, повторно изложенные им также в упомянутом выше большом сочинении 1850 г., постарался развить и облечь в математическую форму Ранкин в ряде больших работ, начиная с 1850 г.¹. По его мнению, каждый атом материи состоит из ядра, или центральной физической точки, окруженной упругой атмосферой, которая удерживается в своем положении притягательными силами, направленными к центру. Состоит ли при этом ядро, или физическая центральная точка, из уплотненного до максимальной степени вещества атмосферы или же оно состоит из отличного от него вещества, остается совершенно невыясненным. Агрегатное состояние тела зависит от соотношения между упругой силой его атомных атмосфер и взаимодействием самих атомов. Упругая сила теплоты возникает благодаря вращениям или вибрациям упругих атмосфер атомов, и количество тепла в теле есть живая сила этих вращений или вибраций. Температура же является функцией отношения квадрата вращательной скорости к упругости атмосфер. Для того чтобы эту теорию связать с теорией света и лучистой теплоты, следует еще принять, что среда, в которой распространяются эти последние, состоит из атомных ядер, которые вибрируют независимо или почти независимо от своих атмосфер. Поглощение света и тепла является тогда переходом движения от атомных ядер к их атмосферам, а излучение имеет место при переходе движения в обратном направлении. На основе этих гипотез Ранкин далее рассматривает соотношение

¹ „Edinburgh Trans.“, XX, 147 (доложено 4 февраля 1850 г.); стр. 425 (доложено 15 декабря 1851 г.); стр. 565 (доложено 17 января 1853 г.).

78 ПЕРЕМЕНА В ВОЗЗРЕНИЯХ ДЖОУЛЯ

между теплом и механической работой, скрытую теплоту, законы термодинамических машин и т. д.

Между тем в воззрениях самого Джоуля, которого Ранкин называет наряду с Дэви основоположником своей теории¹, тотчас же после этого происходит крутой поворот. В работе «Некоторые замечания о теплоте и строении упругих жидкостей»² — 1851 г. Джоуль совершенно оставляет, по крайней мере, в отношении тепловой теории газов, допущение о вращении молекул и воздерживается от какой бы то ни было гипотезы об их эфирных атмосферах; по его словам, он это делает не потому, что теория, построенная на этой гипотезе, не согласуется с явлениями, а только ради большей простоты новой теории. *Согласно последней теплота упругих жидкостей обуславливается прямолинейным поступательным движением их атомов*, которые движутся с большими скоростями во всех направлениях; *а температура газа пропорциональна живой силе этих движений его молекул*. Приписывая эту гипотезу Герапату³, сам Джоуль тотчас же делает дальше в этой чисто механической тепловой теории газов несколько смелых и плодотворных шагов. «Представим себе, — говорит он, — сосуд в форме куба, сторона которого равна одному футу, наполненный водородом; при температуре 60° F и 30 дюйм. барометрического давления этот сосуд будет весить 36,927 гран. Представим себе, далее, это количество газа разделенным на три равные и произвольно малые упругие частицы по 12,309 гран каждая и пусть, далее, каждая из этих частиц колеблется между двумя противоположными сторонами куба... Требуется теперь определить скорость, с какой должна двигаться каждая частица, чтобы уравновесить атмосферное давление в 14831712 гран на каждую сторону куба. Известно, что тело, движущееся со скоростью 32¹/₆ фут. в секунду, останавливается, если ему противопоставить в течение секунды давление, равное его собственному весу; если же подобное давление продолжится еще одну секунду, то тело приобретает скорость 32¹/₆ фут. в обратном направлении. При такой скорости каждая частица в 12,309 гран будет ударяться в каждые две секунды по 32¹/₆ раз в каждую из стенок куба; вызванное этим давление составляет $12,309 \times 32^{1/6} = 395,938$ гран. Как известно, давление пропорционально квадрату скорости частиц; следовательно, для того чтобы вызвать давление в 14 831 712 гран, скорость частиц должна быть равна

¹ „Edinburgh Trans.", XX, стр. 148.

² „Mem. of the Manch. Lit and Phil. Soc.", ноябрь 1851; также „Philosophical Magazine" (3), XIV, стр. 211, 1857; „Das mechan. Wärmeäquivalent", стр. 120).

³ „Annals of philosophy", I, 1821; также „Mathematical Physics", 1847. Даниил Бернулли высказал подобные же воззрения уже в 1738 г. в своей „Hydrodynamica" (Sect. X, стр. 200, Strassburg 1738), хотя и не развил их подробно. „Представим себе... цилиндрический вертикально стоящий сосуд с подвижной крышкой, на которой лежит груз; и пусть сосуд будет наполнен очень маленькими молекулами, движущимися с громадными скоростями во всевозможных направлениях; таким образом, молекулы, ударяясь о крышку и поддерживая ее своими непрерывными толчками, представят собою упругую жидкость, расширяющуюся при удалении или уменьшении груза и сгущающуюся при его увеличении. Подобную жидкость... представим себе вместо воздуха: этим путем мы объясним некоторые уже известные свойства его, а также поясним другие свойства его, которые еще недостаточно исследованы".

$$v = \sqrt{\frac{14\,831\,712}{395,938}} \times 32^{1/6} = 6\,225 \text{ фут. в секунду}.$$

Джоуль отмечает, что вывод остается тем же, на сколько бы частиц мы ни разделили все количество газа в кубе; *поэтому найденное число 6225 должно представить собою и скорость атомов водорода при 60° F.* Известно, что давления одной и той же упругой жидкости при 60 и 32° относятся между собою, как 519 к 461, поэтому скорости атомов водорода при 60 и 32° должны относиться друг к другу, как $\sqrt{519}$ к $\sqrt{461}$; отсюда последняя скорость определяется в размере 6055 фут. в секунду. Джоуль особо отмечает, что из новой его тепловой теории легко выводится закон Мариотта как естественное его следствие. Далее, из пропорциональности между абсолютною температурою и живой силой газовых частиц, а, следовательно, и давлением газа, он легко выводит, что *температура абсолютного нуля лежит на 491° F* ниже точки замерзания воды. Наконец, при помощи новой своей теории он определил *удельную теплоемкость водорода*, а затем и *остальных газов*, причем, конечно, оказалось, что полученные им величины слишком малы по сравнению с теми, которые были получены Деларошем и Бераром с помощью измерений.

Таким образом, Джоуль положил даже основание кинетической теории газов. Однако прошли еще долгие годы, прежде чем начали более углубленно заниматься разработкой этой теории. *Пока же на ближайшее время чувствовалась потребность, вследствие доказанной уже неприемлемости воззрений Карно на теплород и его «падение», вывести законы превращения теплоты в механическую работу, исходя из новых воззрений на теплоту.* В теории теплового процесса Карно в скрытом виде содержалось два положения о переходе тепла в работу. Во-первых, закон, согласно которому определенное количество тепла с определенным тепловым падением способно при всех обстоятельствах произвести одинаковую работу, а затем не менее важное положение, что лишь при обратимых круговых процессах произведенная работа способна вернуть действовавшему количеству теплоты его прежнее падение, т. е. поднять температуру определенного количества теплоты на прежнюю высоту. *Первое из этих положений касается постоянства энергии — начала, установленного Майером, Джоулем и др. Второе же положение касается эквивалентности превращений энергии;* оно было установлено, главным образом, Клаузиусом, им же точно сформулировано и для отличия от первого названо *вторым началом механической теории теплоты*. Карно доказывал это положение, исходя из своего представления о тепловом токе, но Клаузиус уже в 1850 г. в своей первой работе «О движущей силе теплоты»¹ показал, что это положение может быть сохранено и в новой теории теплоты, если только принять за аксиому, что *теплота сама собою не может переходить от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой.*

¹ „Pogg. Ann.“, LXXIX, стр. 368 и 500, 1850. Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822—1888), в 1850 г. — преподаватель Королевской артиллерийско-инженерной школы в Берлине; в 1857 г. — профессор физики в Политехнической школе в Цюрихе, потом в Вюрцбурге, а с 1869 г. — в Бонне.

80 ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ У КЛАУЗИУСА И ТОМСОНА

Клаузиус исходил из мысли, что новая теория теплоты не может допускать получения работы за счет изменения распределения теплоты (как это принял Карно), а должна *установить непосредственное потребление последней*. По его словам, уже Гольтцман в 1845 г. в своей работе «О теплоте и упругости паров» придерживался, по-видимому, такого же взгляда, но затем молча снова вернулся к допущению постоянства количества тепла. Правильнее взглянул на это дело У. Томсон ¹, который, разбирая теорию Карно, признал потребление тепла несомненным и в то же время несовместимым с воззрением Карно. Но когда вслед за этим Томсон утверждает, что если отбросить основы теории Карно, то наталкиваешься на бесчисленные трудности, которые представляются непреодолимыми без дальнейших новых экспериментальных исследований и без полной перестройки теории теплоты ², то против этого следует возразить, что, с одной стороны, указанных трудностей бояться не следует, а с другой стороны — нет необходимости совершенно отказываться от положений Карно, следует только внести некоторые изменения в его представления ³. Следует принять в качестве *первого положения теории теплоты*, «что во всех случаях, когда теплота производит работу, потребляется количество тепла, пропорциональное полученной работе, и что, наоборот, при потреблении такой же самой величины работы получается такое же точно количество тепла». Во втором же положении Карно, «что получению работы соответствует, в качестве эквивалента, просто переход тепла от тела более теплого к телу более холодному, без уменьшения количества теплоты», последнее добавление должно быть, конечно, совершенно отброшено; но в остальном это положение, по основному своему смыслу, может быть сохранено. Правда, переход тепла не имеет ничего общего с потреблением его, но все-таки возможно, что *переход всегда должен иметь место одновременно с потреблением и что этот переход находится в некотором определенном отношении к работе*. Остается, значит, исследовать, является ли подобное предположение не только возможным, но и вероятным. Однако в действительности эта вероятность существует, ибо совершенно противоречило бы обычным свойствам теплоты, если бы ее можно было без каких-либо иных изменений, в любом количестве, переводить из более холодного тела в более теплое: ведь теплота всегда проявляет стремление к такому выравниванию возникающих температурных различий, что она переходит от более теплого тела к более холодному. «Поэтому мне представляется правильным сохранить существенную часть допущения Карно и применять его наряду с приведенным выше в качестве *второго начала*» ⁴.

Тотчас же вслед за Клаузиусом и У. Томсон согласовал положение Карно с новыми воззрениями на теплоту и разработал положение, соответствующее второму началу Клаузиуса ⁵. Подойдя к этому вопросу

¹ „An account of Carnot's theory", „Edinburgh Trans.", XVI, стр. 541, 1849.

² Там же, стр. 545.

³ „Pogg. Ann.", LXXIX, стр. 372.

⁴ „Pogg. Ann.", LXXIX, стр. 503.

⁵ „On the Dynamical Theory of Heat", „Edinburgh Trans.", XX, стр. 261 (доложено 17 марта 1851 г.); стр. 281 (доложено 21 апреля 1851 г.); стр. 475

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ У КЛАУЗИУСА И ТОМСОНА 81

еще более обще, чем последний, он затем перешел к рассмотрению всех различных возможных форм энергии не только с точки зрения их величины, но и с точки зрения их способности к превращению¹. Он показал, что не все формы энергии, при одинаковой величине, обладают равной способностью к превращению, что, например, превращение теплоты при некоторых условиях становится совершенно невозможным. В основу своих исследований он, вместо представления Карно о тепловом падении, кладет следующую аксиому: «При посредстве неодушевленного тела невозможно получить механического действия от какой-либо массы вещества путем охлаждения ее температуры ниже температуры самого холодного из окружающих тел»². Так как при всех происходящих в природе превращениях энергии часть последней всегда превращается в теплоту, то следует признать неизбежным постепенное превращение всех форм энергии в теплоту, а, следовательно, и постепенное исчезновение всяких тепловых различий во вселенной. У. Томсон называет это явление «рассеянием энергии» и из него выводит постепенное снижение до нуля всех возможных видов работоспособности в природе и неизбежно связанное с этим наступление конца всего существующего.

Наконец, в том же 1851 г. Ранкин³ привел новое доказательство

(доложено 15 декабря 1851 г.). Пять частей этой работы имеют фундаментальное значение для математической разработки новой теории теплоты.

¹ „On an Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy", „Philosophical Magazine" (4), IV, стр. 304, 1852.

² „It is impossible, by means of *inanimate material agency*, to derive mechanical effect from any portion of matter by cooling it below the temperature of the coldest of the surrounding objects" („Edinburgh Trans.", XX, стр. 265).

Максвелл поясняет выражение „by means of *inanimate material agency*" и этим определяет пределы второго начала теории теплоты следующим образом: „Это положение, несомненно, верно, пока мы имеем дело с телами большой массы и не имеем возможности ни различать отдельных молекул в этих массах, ни работать с ними. Но если представить себе существо со столь изощренными способностями, что оно было бы в состоянии следить за каждой отдельной молекулой во всех ее движениях, то подобное существо, если бы его способности при этом были бы все-таки такими же конечными, как наши, — было бы способно сделать то, что для нас в настоящее время невозможно. В самом деле, мы видели, что молекулы, находящиеся в сосуде с воздухом при равной повсюду температуре, отнюдь не движутся с равными скоростями, хотя средняя скорость для всякой большой, произвольно выбранной группы молекул повсюду одинакова. Представим себе теперь, что какой-нибудь сосуд разделен на две части *A* и *B* перегородкой с маленьким отверстием в ней. Пусть существо, способное различать отдельные молекулы, попеременно то открывает, то закрывает отверстие, и притом таким образом, чтобы только быстрее движущиеся молекулы могли переходить из *A* в *B*, и только медленнее движущиеся, наоборот, из *B* в *A*. Следовательно, такое существо без затраты работы повысит температуру в *B* и понизит ее в *A* — вопреки второму началу термодинамики" (Maxwell, Theorie der Wärme, перевод на немецкий язык F. Neesen, Braunschweig 1878, стр. 374). — Впрочем, мне представляется, что в данном случае приведение энергии в годный вид удалось бы и одушевленному существу не без затраты некоторой работы и, кроме того, что по отношению к нашему человеческому естествознанию такого рода дедукция неприменима.

³ „Edinburgh Trans.", XX, стр. 205 (доложено в апреле 1851 г.); на стр. 425 приведено еще другое, принципиально тождественное доказательство, „но вывод изложен в более понятной форме" (стр. 439).

82 ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

в пользу второго начала теории теплоты, применительно к термодинамическим машинам; впрочем, по поводу этого доказательства Клаузиус¹ указал, что оно в некоторых и как раз очень важных случаях находится в противоречии с воззрениями, высказанными самим Ранкиным в других местах².

Через три года, в 1854 г.³, Клаузиус облек второе начало в более определенную *математическую форму*; но лишь долгое время спустя он вывел из него *дальнейшие и конечные заключения* и таким путем пришел к представлениям, аналогичным тем, которые Томсон определил выражение рассеяние энергии⁴. Уже из представления Карно следует, что на работу затрачивается не все падение теплоты до абсолютного нуля, а лишь падение ее до температуры наиболее холодного действующего тела. Но и по аксиоме Клаузиуса, устанавливающей невозможность перехода тепла от более холодного тела к более теплomu без каких-либо компенсаций, получилось то же самое для способности превращения теплоты в работу. Величина способной к превращению

¹ „Die mechanische Wärmetheorie“, I, стр. 357, Braunschweig 1876.

² У. Томсон в конце своего доказательства второго начала говорит: „Я заявляю это не потому, что желал бы отстоять свой приоритет, так как заслуга первого установления этого положения на правильных основаниях принадлежит целиком Клаузиусу... Я позволяю себе прибавить, что я дал доказательство в том виде, как оно мне представилось, раньше чем узнал, что Клаузиус провозгласил или доказал это положение“ („Edinburgh Trans.“, XX, стр. 266). Аналогично высказывается по поводу Клаузиуса и Ранкин: „Карно первый отстаивал закон, что отношение максимума механического эффекта ко всей теплоте, затраченной в расширительной машине, является функцией только двух температур, при которых теплота соответственно получается и отдается, и не зависит от природы действующего вещества... Заслуга сочетания закона Карно, как его обычно называют, с законом превратимости теплоты и силы принадлежит м-ру Клаузиусу и проф. Вильяму Томсону; в том точном смысле, какой они ему придали, он может быть изложен следующим образом: максимальная доля теплоты, превращенной в механическую силу какой-либо машиной, является только функцией температур, при которых теплота была получена и отдана рабочим веществом; эта функция для каждой пары температур является неизменной для всех веществ в мире. Этот закон был установлен м-ром Клаузиусом, подобно тому, как по началу его дал и Карно, — в качестве самостоятельной аксиомы. У меня на первых порах были сомнения в правильности тех доводов, в силу которых он сохранил эту аксиому. Я сообщил о своих сомнениях проф. Томсону, и последнему я обязан тем, что он побудил меня внимательно до конца продумать этот вопрос; ибо, хотя я еще не видел его работы и не познакомился с его методом доказательства закона Карно, я получил от него сообщение о некоторых наиболее важных его выводах“ („Edinburgh Trans.“, XX, стр. 205—206). — William Thomson родился в 1824 г. в Белфасте, где его отец был преподавателем математики. Образование получил в Кембридже, в 1847 г. уже был профессором физики в Глазго. Его математические и физические исследования были изданы в виде особого сборника под заглавием „Mathematical and physical papers, collected from different scientific periodicals from may 1841, to the present time“, 2 тома, London 1882 и 1884. Помимо теории теплоты, он с большим успехом работал и в области электричества. За свои научные заслуги он получил звание лорда Кельвина. Умер он в 1908 г. — William John Macquorne Rankine (1820—1872) — гражданский инженер, позднее профессор инженерных наук и механики в Глазго.

³ „Über eine veränderte Form des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie“, „Pogg. Ann.“, XCIII, стр. 481.

⁴ „Pogg. Ann.“, CXVI, 1859; CXXI, 1864; CXXV, 1865.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ 83

энергии не равна абсолютной величине последней; она не только прямо пропорциональна теплоте (если мы всю энергию выразим в теплоте), но и обратно пропорциональна абсолютной температуре более холодного тела. Эту энергию, способную к превращению, или *объем превратимости* (Verwandlungsinhalt) тела, можно, следовательно, выразить отношением Q/T , где Q обозначает теплоту, а T — абсолютную температуру. Далее Клаузиус доказал, что для обратимого кругового процесса должна иметь место формула $\int dQ/T = 0$ ¹, а для необратимого — $\int dQ/T < 0$ ², если переход тепла от более высокой температуры к более низкой считать положительным. Поэтому лишь при обратимом круговом процессе ничего не теряется из той части энергии, которая способна к превращению; при необратимых же круговых процессах

¹ „Pogg. Ann“, XCIII, стр. 487, 1854. Клаузиус говорит здесь (стр. 488) о первой более ранней форме своего второго начала: „Однако при выводе этого положения за основу был принят слишком простой процесс, при котором имеется лишь два тела, теряющих или приобретающих теплоту; тем самым молча допускалось, что теплота, превращаемая в работу, получается от одного из тех самых двух тел, между которыми происходит тепловой обмен. Но так как этим путем делается определенное допущение о температуре тепла, превращенного в работу, то тем самым затемняется влияние, оказываемое изменением этой температуры на отношение между обоими количествами тепла, а потому, следовательно, и положение в приведенной выше форме является неполным“.

² „Pogg. Ann“, CXVI, стр. 73, 1862. В этой работе Клаузиус начинает обоснование своего расширенного закона следующими словами: „Внутренняя работа вообще так мало известна и связана с другою опять-таки неизвестною величиною таким образом, что при рассмотрении ее приходится до известной степени руководиться соображениями вероятности... Так как в предшествующей своей работе я хотел избежать всего гипотетичного, то я совершенно исключил из нее внутреннюю работу, что было возможно, так как я ограничился лишь круговыми процессами... В самом деле, при всяком таком процессе величины внутренних работ... взаимно уничтожаются“ (стр. 73—74)... „С опубликованием остальной части своего закона я до сих пор медлил, так как он приводит к выводу, значительно отклоняющемуся от распространенных до сих пор воззрений на теплоту, заключающуюся в телах; поэтому мне казалось желательным подвергнуть его дальнейшей проверке. Но так как с течением лет я все более и более убеждался в том, что этим воззрениям, имеющим свои корни скорее в привычке, чем в научных обоснованиях, не следует придавать большого значения, то я позволяю себе, покончив, наконец, со своими сомнениями, представить на суд ученой публики положение об эквивалентности превращений в полном его объеме, а также связанные с ним положения“ (стр. 74). „Процессы эти (посредством которых теплота может производить работу) всегда можно свести к изменению расположения составных частей в теле под влиянием теплоты... Для того чтобы иметь возможность выразить это математически, введем для представления степени разложения тела новую величину, которую обозначим термином *дисгрегации* тела; при помощи последней мы сможем просто определить действие тепла таким образом, что оно *стремится усилить дисгрегацию*“ (стр. 78—79). Найдя затем математическое выражение для дисгрегации, Клаузиус с помощью его дает доказательство своего положения в самом общем виде. В конце своей работы он доказывает, что для охлаждения тела до абсолютного нуля потребовалось бы бесконечно большое изменение дисгрегации и что, следовательно, такое охлаждение невозможно.

последняя при всех обстоятельствах уменьшается. Обозначив затем неспособную дальше к превращению часть энергии тела новым словом *энтропия*, Клаузиус сформулировал второе начало теории теплоты в следующем чреватом далекими выводами выражении: «*Энтропия вселенной стремится к максимуму*»¹.

Положение Карно-Клаузиуса претерпело много превратностей, да и сейчас собственно его судьбу еще нельзя считать вполне установленной или, во всяком случае, вполне обеспеченной. Правда, по отношению

к круговым процессам в форме $\int dQ/T=0$ оно почти не встретило возражений,— старались лишь упростить способ его вывода в соответствии со своими собственными воззрениями. Ранкин, который, как было уже упомянуто, вывел этот закон своим особым способом, сначала дал

функции dQ/T особое название *термодинамической функции*, а Цейнер

в своем известном сочинении «Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie («Основы механической теории теплоты») сравнил энергию, способную быть превращенной без компенсации, с потенциальной энергией подвешенного груза и поэтому при своем выводе второго начала назвал упомянутую функцию *тепловым весом*. Эттинген², пытавшийся вывести второе начало теории теплоты из первого, предложил для той же функции иное название — *адиабаты*, терминологию же Клаузиуса он признал наименее удачной из всех. Он особенно возражал и прошив того, что *Клаузиус применил второе начало к необратимым круговым процессам*, а также против сделанных им отсюда дальнейших выводов. «Только что приведенные положения Томсона и Клаузиуса, — говорит он в 1875 г., — я считаю спорными и могу, мне кажется, доказать, что из числа положительных с виду элементов определенной Клаузиусом энтропии многие оказываются равными нулю. Хотя в этом и не содержится еще никакого опровержения указанных тезисов, тем не менее

¹ Относительно происхождения слова *энтропия* Клаузиус в той работе, где он его вводит („Pogg. Ann.", CXXV, стр.390, 1865). говорит следующее: „Слово энтропия я намеренно подобрал возможно ближе к слову энергия, так как обе соответствующие этим выражениям величины настолько близки по своему физическому смыслу, что они, по моему мнению, требуют однородного обозначения".

В конце этой работы (стр. 398) он сам характеризует свое второе начало следующим образом: „*Второе начало в том виде, какой я ему придал, гласит, что все совершающиеся в природе превращения в определенном направлении, которое я принял в качестве положительного, могут происходить сами собою, т. е. без компенсации, но в обратном, т. е. отрицательном, направлении, они могут происходить только при условии, если они компенсируются происходящими одновременно с ними положительными превращениями.* Применение этого начала ко всей вселенной приводит к заключению, на которое впервые указал У. Томсон. В самом деле, если при всех происходящих во вселенной изменениях состояния превращения в одном определенном направлении постоянно преобладают по своей величине над превращениями в противоположном направлении, то общее состояние вселенной должно все больше и больше изменяться в первом направлении и таким образом оно должно непрерывно приближаться к предельному состоянию".

² „Pogg. Ann.", дополнительный том VII, стр. 83, 1875, А. J. v. Oettingen (родился в 1836 г.) — профессор физики в Дерпте.

ОБЩЕПРИМЕНИМО ЛИ ВТОРОЕ НАЧАЛО? 85

они не являются бесспорными, даже совершенно независимо от того, допустить ли в организмах, как это, по-видимому, полагает Томсон, возможность уклонения от физических законов или нет»¹. И действительно, многим физикам представлялось, что *второе начало* находится в таком *противоречии с первым*, что оно, по крайней мере, частично, уничтожает только что признанное начало сохранения энергии. Если далеко идущие выводы из второго начала устраняли вполне обоснованным указанием на то обстоятельство, что величина наличной полезной энергии и размер ее потребления нам совершенно неизвестны, в силу чего с точки зрения этих воззрений конец мира выходит далеко за пределы наших представлений, то *многие физики считали работоспособность или превратимость абсолютно связанной с понятием энергия, а неспособная более к превращению энергия, с их точки зрения, вообще переставала быть энергией*. Для того чтобы все-таки сохранить во всей строгости положение о постоянстве энергии, им приходилось возражать не против обоснования второго начала, которое представлялось трудно уязвимым, а против *самой основы его, т. е. аксиомы Клаузиуса*, и указывать на сомнительность последней. И, действительно, многие нападки были направлены именно в эту сторону. Так, в 1852 г.² Ранкин выступил против аксиомы о невозможности перехода без компенсации тепла с более холодного тела на более теплое, — с возражением, имевшим видимость серьезного довода, что при помощи вогнутого зеркала можно концентрировать теплоту и, таким образом, без всякой затраты энергии можно переводить ее с более низкой температуры на более высокую. Клаузиус возразил на это, что никакое вогнутое зеркало не может дать в своем фокусе температуру выше той, какая присуща телу, испускающему лучи³, — по крайней мере, при условии, что тепловое излучение зависит не только от строения тела и его температуры, но также и от среды, через которую происходит излучение, так что это последнее обратно пропорционально скорости распространения лучей в среде или прямо пропорционально квадрату показателя их преломления в этой среде. Теодор Ванд⁴, помимо некоторых возражений преимущественно механического порядка, указал на то обстоятельство, что свет и тепло, разлагая в растениях угольную кислоту, отлагают в них углерод, дающий при горении несравненно более высокую температуру, чем температура самих химических действующих лучей солнца. Но на это, согласно Р. Рюльману⁵, можно возразить, что солнечные лучи возникают не в атмосфере, температуру которой, по-видимому, Ванд склонен приписывать излучающему телу, а на солнце, температура которого, во всяком случае, должна

¹ „Pogg. Ann.", дополнительный том VII, стр. 85.

² „Philosophical Magazine" (4), IV, стр. 358: „On the reconcentration of the mechanical energy of the universe".

³ „Über die Concentration von Licht- und Wärmestrahlen und die Grenzen ihrer Wirkung", „Pogg. Ann.", CXXI, стр. 1, 1864; также „Mechanische Wärmetheorie", стр. 314, Braunschweig 1876.

⁴ „Kritische Darstellung des zweiten Satzes der mechanischen Wärmetheorie" von Th. Wand, Carl's Repertorium für Experimentalphysik, IV, стр. 231 и 369, 1868.

⁵ „Handbuch der mech. Wärmetheorie", I, стр. 389, Braunschweig 1875.

86 ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ ВТОРОГО НАЧАЛА

быть выше всяких температур, которые могут быть получены путем горения тел на земле.

Известный теоретик по вопросам теплоты, Гирн¹, описал в 1862 г. в своем сочинении «Exposition analytique et experimentale de la chaleur» («Аналитическое и экспериментальное объяснение теплоты») очень любопытную *термодинамическую машину*, с помощью которой можно было нагревать газ от 0 до 120° и выше, без посредства какого-либо тела, которое имело бы температуру выше 100°, и без затраты силы. В ответ на это Клаузиус отметил, что в данном случае газ, подлежащий нагреванию, играет *двойную роль* и что тепловой поток, переходящий с теплого тела на холодный газ, представляет собою ту *компенсацию*, которая необходима, согласно его аксиоме, для поднятия температуры этого самого газа выше температуры теплого тела. После этого Гирн признал, что возражение, основанное на действии его машины, является лишь *кажущимся*, и объявил о своем *согласии с воззрениями Клаузиуса*². Совершенно таким же образом Клаузиус устранил возражение Тэта, который в опровержение аксиомы Клаузиуса указал, что с помощью *термоэлектрического столба*, места спаев которого поддерживаются при температурах 0 и 100°, можно тонкую проволоку легко довести до накаливания, т. е. до температуры, превышающей 100°³. Позднее Тэт решился выступить еще с одним возражением. Выше было уже указано, что Максвелл⁴ при своей математической разработке теории газов допустил, что при совершенно равной температуре газа молекулы его все-таки обладают *различной живой силой* и что *температура газа соответствует только среднему значению всех этих сил*; при этом он также отметил, что, таким образом, здесь, по крайней мере, для *существования сверхчеловеческого порядка*, которые были бы в состоянии сортировать эти молекулы, второе начало оказалось бы недействительным. Тэт⁵ попытался перенести это представление в мир *обычного человеческого масштаба*, утверждая, что и без содействия демонов подобная сортировка молекул может происходить сама собою в результате движения самих частиц. Клаузиус⁶ согласился с этим, но отметил, что *момент подобной сортировки*, будучи одного порядка с величиною молекул, будет лишь преходящим и, во всяком случае, для нас незаметным. Всего *труднее* было ответить на *возражение* Тольвера Престона⁷, так как последнее в большей мере, чем все прежние, затронуло темную область молекулярных сил. Пусть герметически со всех сторон закрытый цилиндр внутри будет разделен на две равные

¹ G. Ad. Hirn (родился в 1815 г.). —владелец ткацкой фабрики.

² R. Clausius, Die mechanische Wärmetheorie, I, стр. 373—378.

³ „Philosophical Magazine" (4), XLIII, стр. 328; XLIV, стр. 240; „Pogg. Ann.", CXLV, стр. 496, 1872; „Pogg. Ann.", CXLVI, стр. 308.

⁴ „Theory of Heat", London 1871; немецкий перевод Neesen'a, II, стр. 374, Braunschweig 1878.

⁵ „Lectures on some recent advances in Physical Science", второе издание. London 1876; перевод на немецкий язык Wertheim'a, стр. 101, Braunschweig 1877.

⁶ „Die mechanische Behandlung der Elektrizität", стр. 317, Braunschweig 1879.

⁷ „Nature", XVII, стр. 202, 1878. Сомнение в применимости второго начала к явлениям диффузии в новейшее время высказал Р. Пикте' („Tageblatt der 60. Versammlung deutscher Naturforscher", стр. 231, Wiesbaden 1888).

МЕХАНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВТОРОГО НАЧАЛА 87

части подвижным поршнем из обожженной глины или графита и т. п.; одна половина цилиндра пусть будет заполнена водородом, а другая кислородом. Так как водород диффундирует через поршень сильнее кислорода, то поршень будет двигаться в сторону водорода; следовательно, в данном случае не только будет производиться полезная работа без какой-либо внешней компенсации, но, кроме того, будут происходить охлаждение водородной части цилиндра и нагревание кислородной части его. Клаузиус¹ возразил на это и, как нам, кажется, вполне обоснованно, что и в сосуществовании рядом различных газов налицо имеется запас полезной энергии, что смешанным газам следует приписать большую дисгрегацию, чем несмешанным, и что в этом увеличении дисгрегации при смешении и заключается компенсация произведенных механических работ и температурных разностей. Если, таким образом, Клаузиусу удалось отстоять свое второе начало, то уже самый факт появления приведенных возражений позволял все-таки несколько усомниться в аксиоматической природе указанного начала. К этому присоединялось еще одно соображение. Если теплота, как это принимает новая теория, есть лишь *род движения* и представляет собою, следовательно, *чисто механическое явление*, то все ее свойства должны быть выведены из известных механических аксиом. Так как температура тела только пропорциональна движению его молекул, то вопрос о возможности перехода теплоты с одного тела на другое должен разрешаться только в соответствии с особенностями этого движения и без всякой специальной тепловой аксиомы. Легко также видеть, что и по отношению к энергии *чистого движения*, — если представить себе всю потенциальную энергию не существующей, — *второе начало*, или *учение о полезной энергии*, должно быть совершенно так же применимо, как и в теории теплоты. Правда, абсолютная величина энергии движущегося тела пропорциональна квадрату его абсолютной скорости; но *фактически действующая энергия зависит не от абсолютного, а от относительного движения, от существующих разностей движения*. Когда в изолированной материальной системе движения отдельных частей настолько выровнялись, что все скорости стали равными по величине и по направлению, то, несмотря на любую величину абсолютной энергии, полезная энергия системы все-таки равна нулю. Поэтому перед механической теорией теплоты, которая, конечно, должна быть чисто кинетическим учением, возникала совершенно неизбежная проблема вывести второе начало теории, без посредства особой тепловой аксиомы, из чисто механических принципов. Раньше всех начал работать в этом направлении Л. Больцман, написавший в 1866 г. исследование: «Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie» («О механическом значении второго начала механической теории теплоты»)²; за ним,

¹ „Die mechanische Behandlung der Elektrizität“, стр. 318.

² „Sitzungsber. d. Wien. Akad.“, LIII, 2 Abth., стр. 195. Ludwig Boltzmann {1844—1906, профессор физики в Граце, Мюнхене, Лейпциге, Вене) говорит в конце своего доказательства второго начала: „Легко видеть, что наши заключения несколько не зависят от значения, придаваемого этим величинам в учении о теплоте; они, таким образом, одновременно доказывают теорему чистой меха-

88 ПРИНЦИП НАИМЕНЬШЕГО ДЕЙСТВИЯ

спустя пять лет, последовал сам Клаузиус¹, пришедший к тем же выводам, что и Больцман, но только в несколько более общем виде. Оба эти вывода были аналогичны операциям, при помощи которых в механике определяют *принцип наименьшего действия*. Затем, в 1872 г., К. Чили (C. Szily) выступил с указанием, что второе начало механической теории теплоты представляет собою не что иное, как непосредственное применение *принципа Гамильтона* к теории теплоты, и действительно прямо из него вывел второе начало².

Если в названных работах и встречались некоторые недочеты с точки зрения ясности и строгости выводов, а также с точки зрения сделанных при этом допущений, то они, во всяком случае, показали *возможность обосновать второе положение на чисто механических началах без помощи каких бы то ни было специальных предпосылок теории теплоты*. Но вследствие этого второе начало вышло уже из более узких границ учения о теплоте и стало *принципом превращения всякой энергии вообще, т. е. общим принципом всей физики*. Таким образом, развитие второго начала шло совершенно параллельно развитию первого начала о постоянстве энергии и самое это положение сделалось необходимым дополнением к началу сохранения энергии во всей физике. В таком направлении и развивались потом исследования многих физиков, начиная с половины семидесятых годов. И Гельмгольц, не касавшийся больше этих тем со времени своей известной работы 1847 г., вернулся к ним в восьмидесятых годах. В 1882 г. он попытался применить второе начало к *химическим процессам*³; вслед за тем

ники, соответствующую второму началу, — совершенно так же, как начала живых сил соответствует первому; это есть, как легко видеть из нашего рассмотрения, начало наименьшего действия (стр. 217).

¹ „Pogg. Ann.“, CXLII, стр. 433, 1871.

² „Pogg. Ann.“, CXLV, стр. 295, 1872; CXLIX, стр. 74, 1873. Клаузиус не вполне согласился с этим прямым отождествлением обоих начал. Он говорил („Pogg. Ann.“, CL, стр. 106, 1873): „Чили, заявивший уже в более ранней своей статье о тождестве того положения, которое мы в термодинамике называем вторым началом, с началом Гамильтона, повторил то же самое и в новой своей статье, Но я надеюсь, из настоящей моей статьи он убедится, что между уравнением Гамильтона и тем уравнением, которое применяется в термодинамике для пояснения второго начала, имеется существенное различие“. Позднее Чили попытался вывести второе начало из первого уже без всяких дополнительных гипотез („Pogg. Ann.“, дополнит. том VII, стр. 151, 1875). Koloman v. Szily (родился в 1838 г.) — профессор Политехнической школы в Будапеште.

³ „Die Thermodynamik chemischer Vorgänge“, „Sitzungsber. d. Berl. Akad.“, стр. 22, 1882; также „Wissenschaftl. Abhandlungen“, II, стр. 958. В этой работе Гельмгольц вводит термины *свободной* и *связанной* энергии. „Запас теплоты, как известно на основании закона Карно, точнее сформулированного Клаузиусом, не может быть неограниченно превращен в другие эквиваленты работы; мы можем достичь этого, да и то только частично, заставляя переходить непревращенный остаток теплоты в тело с более низкой температурой... Если принять во внимание, что химические силы способны производить не только теплоту, но и другие формы энергии, — последнее даже без всякого соответствующего изменения температуры взаимодействующих тел, каков, например, случай работы гальванических батарей, — то для меня представляется совершенно бесспорным, что и для химических процессов следует принять разделение сил *сродства* на две части, из которых одна способна свободно превращаться в иные формы работы, а другая превращается лишь в теплоту. Поэтому я

ПОНЯТИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ 89

обратился к *чисто механическому* рассмотрению всех процессов, подходящих под второе начало ¹ и в результате этих исследований тоже пришел к упомянутой выше высокой оценке *принципа наименьшего действия Мопертюи-Гамильтона* ².

По меньшей мере, столько же трудностей, как при попытках заменить тепловую аксиому Клаузиуса для второго начала соответствующей аксиомой механики, встретили ученые и при *механическом обосновании понятия температуры*. Неясность этого понятия была уже давно сознана. Уже *приверженцы теплорода* заметили, что наши термометрические градусы, отсчитываемые от произвольно избранного нуля, не применимы для абсолютных измерений количеств тепла; поэтому уже они пытались установить *абсолютную нулевую точку термометра*. Клауфорд в своей известной работе «On animal heat» («О животной теплоте») установил ее в — 821° С. Дальтон пытался определить абсолютную точку нуля из теплоты смешения различных веществ при помощи теплоемкости последних, но при этом он пришел к очень разноречивым результатам ³. Лучшие результаты дало использование коэффициента расширения газов от теплоты. Так как при нагревании газа от 0 до 266°,66 С объем его увеличивается вдвое ⁴, то можно принять, что для образования единицы объема необходимо нагревание на 266°,66 и что при охлаждении от 0 до 266°,66 газ совершенно потеряет свой объем, т. е. будет сведен к нулевому объему. Но так как в объеме 0 не может уже быть и теплорода, то, значит, темпера-

позволю себе в последующем для краткости называть обе эти части энергии *свободной и связанной энергией*" (стр. 958—959).

¹ Journal für reine u. angew. Mathematik", XCVII, стр. 111 и 317, 1884 г., „Sitzungsber. d. Berl. Akad", стр. 159, 311, 755 и 1197, 1884.

² См. 1-й выпуск 3-й части настоящей работы, стр. 228. Л. Пфаундлер связал со вторым началом соображения самого *общего* характера без математических обоснований („Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 182, 1874), поставив себе целью показать, что *благодаря известному стремлению к поддержанию крайних форм рост энтропии во вселенной замедляется*. В конце статьи он говорит: „Из второго начала механической теории теплоты сделали тот вывод, что ход мировых часов когда-нибудь остановится. Когда часовая гиря достигла пола, то вся работа превратилась в теплоту, которую уже нельзя употребить на то, чтобы вновь поднять гирю. Энтропия (часового механизма) достигла максимума". Однако при захватывании зубцов якорным крючком каждый раз, когда маятник опускается, гиря поднимается несколько вверх, и это отрицательное превращение компенсирует часть положительного превращения, работа крючка компенсирует часть расхода работы, производимого падающим грузом. Таким образом, увеличение энтропии замедляется рядом противоположных изменений. Указанному подъему и опусканию маятника в природе соответствует жизненный процесс в растениях и животных (стр. 198). Г. Гельм (профессор Политехнической школы в Дрездене), наоборот, использует известное *стремление энергии* для того, чтобы освободить второе начало, а вместе с тем и понятие *энтропии* от специальной тепловой аксиомы. Вместо последней он вводит следующее положение: „*Всякая форма энергии имеет стремление переходить из мест, где она обладает более высокой интенсивностью, в места, где интенсивность ее ниже*". Как общее правило, всякий переход энергии сопровождается ее преобразованием, и только теплота может переходить от большей интенсивности к меньшей без всякого изменения своей формы („Die Lehre von der Energie", стр. 62, Leipzig 1887).

³ „Manch. Mem.", V, стр. 595, 1802; „Gilbert's Annalen", XII, стр. 316, 1802.

⁴ Коэффициент расширения газов по Гэ-Люссаку равен 0,00375.

90 АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА И ЕЕ КОСВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

тура — $266^{\circ},66$ и должна представлять собою абсолютную точку нуля температуры. К этим выводам Дезорма и Клемана ¹ присоединился Лаплас ², а за ним и большинство физиков того времени ³. Новая теория теплоты могла прямо принять эти выводы, — и при этом она располагала тем важным преимуществом, что вместо прежней идеи о приведении к нулю объема газа она могла принять за основание сведение к нулю скорости. Но зато, с другой стороны, неясности, присущие *вообще понятию температуры*, выступили в механической теории теплоты *гораздо* яснее, чем прежде. Старая теория мало интересовалась вопросом о сущности температуры и судила о ней лишь по ее проявлениям; механическая же теория должна была дать и температуре механическое определение и вывести ее сущность из свойств движения ⁴.

Из основного положения, что температура двух тел одинакова, когда тепло не переходит из одного в другое, можно было сделать тот вывод, что *температура пропорциональна живой силе молекул тела*. Но так как с температурой связаны лишь *внешние действия*, то приведенное определение следует ограничить тою частью живой силы, которая может быть превращена во *внешнюю работу* и не затрачивается на *внутреннюю*; следовательно, это определение непосредственно применимо лишь к таким веществам, у которых внутреннюю работу можно считать равной нулю, т. е. только к *идеальным газам*. У всех же прочих тел температуру можно считать пропорциональной лишь той живой силе, которая свойственна *свободному* тепловому движению их молекул. Но так как, с одной стороны, идеальных газов не существует, а с другой стороны, — у всех прочих тел отношение между внутреннею и внешнею работою недостаточно ясно, то указанное *прямое определение* температуры было сопряжено как с трудностями для термометрии, так и неудобно для аналитического развития теории теплоты. На этом основании уже давно стали довольствоваться *косвенными определениями* температуры, которые зато находились в тесной связи с существующими математическими выводами. Первым, вступившим на этот путь, был У. Томсон ⁵.

Клапейрон ⁶ из соображений Карно для обратимых круговых процессов вывел следующую формулу:

$$\frac{dQ}{dv} \cdot \frac{dT}{dp} - \frac{dQ}{dp} \cdot \frac{dT}{dv} = C,$$

¹ „Journal de physique", LXXXIX, стр. 324, 1819.

² „Mécanique céleste", V, стр. 92.

³ Ср. *Gehler*, *Physikalisches Wörterbuch*, 2 изд., X, стр. 115—126.

⁴ См. Boltzmann, „Sitzungsber. d. Wiener Akad.", LIII, 2 изд., стр. 195, 1866. Больцман начинает свой трактат о механическом значении второго начала с указания: „Прежде всего, нам здесь необходимо установление основного понятия всего учения о теплоте, до сих пор еще не определенного точным и однозначным образом, именно понятия температуры".

⁵ „On an absolute thermometric scale founded on Carnot's theory of the motive power of heat and calculated from Regnault's observation on steam". *Proceedings of Cambridge Phil. Soc.*, June 5, 1848.

⁶ „Pogg. Ann.", LIX.

АБСОЛЮТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА И ЕЕ КОСВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 91

где C представляет собой одинаковую для всех тел природы функцию температуры, обратная величина которой равна работе, которую может совершить единица тепла при своем переходе к температуре на один градус ниже ¹. Форму этой температурной функции, оставшейся у Клапейрона неопределенной, впервые дал Гельмгольц в своей работе 1847 г.². Соответствующую формулу, которая отсюда получается

для газов: $C = v \frac{dQ}{dv} - p \frac{dQ}{dp}$, Гельмгольц сравнил с другой формулой, данной Гольцманом («Über die Wärme und Elasticität», Mannheim 1845 г.):

$$\frac{pv}{a} = v \frac{dQ}{dp} - p \frac{dQ}{dv},$$

и таким образом нашел, что

$$C = \frac{pv}{a} \quad \text{или} \quad C = \frac{k(1 + \alpha t)}{a},$$

где k обозначает некоторую постоянную величину, a — механический эквивалент единицы теплоты и α — коэффициент расширения газов ³. Если в последней формуле $1 + \alpha t$ выразить с помощью абсолютной температуры, вычисленной на основе старого определения с помощью коэффициента расширения газа, то получается $C = \frac{K}{a}$ (так в оригинале, *прим. копировщика*) или же $C = KT/a$, т. е. что температурная функция C пропорциональна абсолютной температуре.

На этом теперь Томсон, наоборот, *основал свое определение температуры*. Джоуль ⁴ в своем письме от 9 декабря 1848 г. отметил, что абсолютную температуру можно положить равной просто произведению температурной функции C на механический эквивалент единицы тепла и что, следовательно, указанную выше постоянную K можно принять равной единице. Томсон же обратил внимание на то обстоятельство, что температурная функция C , будучи одинаковой для всех тел природы, особенно пригодна для того, чтобы служить мерилом температуры, и, назвав величину, обратную функции C , функцией Карно, он

¹ Клапейрон в своей работе, где он ввел эту функцию („Pogg. Ann.", LIX стр. 463), говорит: „Легко видеть, что функция C имеет большое значение; она не зависит от природы газа и является только функцией температуры; она существенно положительна и служит мерой величины действия, которое может произвести теплота".

² Отдельные значения этой функции для определенных температур вычислил уже Клапейрон на основании экспериментальных данных Дюлонга („Pogg. Ann.", LIX, стр. 577).

³ „Über die Erhaltung der Kraft", стр. 34—37, Berlin 1847.

⁴ Томсон говорит („Edinburgh Trans.", XX, стр. 279): „М-р Джоуль сообщил мне в письме от 9 декабря 1848 г., что истинное значение $\mu (=1/C)$ должно быть „обратно температурам, исчисляемым от нуля", а также привел значения ее для разных температур, исчисленные с помощью формулы $\mu = JE/(1 + Et)$, для сравнения их с соответствующими значениями, полученными мною с помощью данных для водяного пара".

92 ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАННЫЕ ТОМСОНОМ И КЛАУЗИУСОМ

предложил *определить абсолютную температуру как частное от деления механического эквивалента единицы теплоты на функцию Карно*. Согласно этому определению абсолютную температуру можно также рассматривать как температуру, для которой, при бесконечно малом круговом процессе, отношение бесконечно малого повышения температуры к абсолютной температуре можно принять просто равным отношению количества тепла, превращенного в работу, ко всему количеству тепла, перешедшему с теплого тела на холодное ¹. Весьма многочисленные и очень тщательные исследования тепловых действий в газообразных телах ² показали, что вычисленные на основе указанных определений величины абсолютной температуры настолько близко совпадают с показаниями воздушного термометра, насколько этого только можно ожидать, принимая во внимание отступление воздуха от природы идеального газа ³.

Томсоновский косвенный метод определения температуры был в большей или меньшей степени признан всеми специалистами в области аналитической теории теплоты. Клаузиус сперва выводит наиболее общее выражение второго начала теории теплоты в

$$\int \frac{dQ}{\tau} = 0,$$

форме где τ представляет собою неизвестную еще функцию температуры. Затем он показывает, что эта температурная функция τ равна произведению абсолютной температуры T на некоторую постоянную величину. Наконец, он принимает τ просто равной T , так как при относительности понятия температуры постоянный множитель, как показывают формулы, может быть взят совершенно произвольным ⁴. Таким же образом поступает в своих «Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie («Основы механической теории теплоты») Цейнер ⁵, который вводит в качестве интегрирующего делителя для dQ функцию S , отличающуюся от функции C Карно только постоянным множителем, и гипотетически приравнивает ее к абсолютной температуре с тем, чтобы с помощью дальнейших выводов проверить правильность этой гипо-

¹ „Heat“, by Sir William Thomson, стр. 44, Edinburgh 1880.

² „Phil. Trans.“, стр. 357, 1853; стр. 321, 1854; „Pogg. Ann.“, XCVII, стр. 576.

³ „Phil. Trans.“, стр. 353, 1854. Таблица абсолютных температур, сопоставленных с показаниями воздушного термометра от 0 до 300° C, дает следующее: „Наибольшее расхождение между 0 и 100° C составляет менее $\frac{1}{20}$ части градуса, а расхождение при 300° C составляет только четыре десятых градуса“.

⁴ „Die mechanische Wärmetheorie“, I, стр. 112.

⁵ 2 изд., Leipzig 1866. Цейнер говорит (стр. 75): „Если я в тексте наперед делаю определенное предположение относительно формы функции S , а именно ввожу гипотезу, что она должна выражать собою самую температуру, то это делается преимущественно с той целью, чтобы уже здесь, при этих общих рассуждениях, иметь определенное мерило температуры, а также из тех соображений, что этим существенно облегчается понимание последующего“. В 3-м издании своего сочинения „Technische Thermodynamik“, Leipzig 1887 (1, стр. 29 и далее) он обходится без этой предпосылки. Gustav Zeuner (родился в 1828 г.) в 1853—1857 был редактором журнала „Civilingenieur“; с 1857 г. — профессор механики и теории машин в Цюрихе; с 1865 г. — директор Политехникума в Цюрихе. с 1871 г. — директор Горной академии в Фрейбурге; с 1875 г. — директор Политехникума в Дрездене.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАННЫЕ ТОМСОНОМ И КЛАУЗИУСОМ 93

тезы. Наконец, и Гельмгольц ¹ — в своих новейших работах о механических следствиях, вытекающих из второго начала, исследовал условия, при которых кинетическая энергия молекулы может обладать существенными свойствами температуры. Он определяет *температуру* как функцию, которая: 1) является интегрирующим знаменателем в дифференциальном уравнении $dQ=0$; 2) имеет одинаковую величину для двух тел, если между ними не происходит теплового обмена, и 3) удовлетворяет условию, что два тела, находящиеся в тепловом равновесии с третьим телом, находятся в таком же равновесии и между собою. Если в какой-либо системе точек имеются только две различные группы движений, *стационарные*, с бесконечно малыми изменениями скоростей, и *циклические*, в которых координаты отдельных точек изменяются лишь незначительно, то при известных условиях, действительно, можно полученную или отданную теплоту рассматривать как работу dQ , переданную циклическим движениям или отнятую от них. А именно, если в системе происходит только *одно* циклическое движение (*моноклическая система*) или же если все циклические движения зависят помимо положения точек еще только от какой-нибудь единственной функции, например от какой-либо скорости (*связанные полициклические* или *общие моноциклические системы*), то кинетическая энергия системы является одним из интегрирующих знаменателей дифференциального уравнения $dQ=0$. Если при этом между двумя или многими моноциклическими системами физически нельзя установить обмена кинетической энергией иначе, как, соединив их в новую моноциклическую систему, то равенство упомянутого интегрирующего знаменателя решает вопрос о том, происходит ли при таком соединении (*Koppelung*) обмен кинетической энергией и удовлетворяются ли таким образом второе и третье из указанных выше условий. *Итак, теплоту тела можно рассматривать как энергию циклических движений моноциклической системы, а температура является кинетической энергией этих движений.*

Все эти исследования о *чисто-механическом* значении тепловых понятий, приведенные нами здесь в интересах связности изложения, относятся собственно не только по времени, но и по своему характеру к *следующему периоду*. Упоминание о них в настоящем месте важно для нас в том отношении, что именно они особенно ясно показывают тот путь, по которому направились развитие науки, и те цели, к которым она должна была привести, а именно — к дальнейшему проникновению в *сущность материи*. Когда установилось представление о теплоте, как только о некотором роде движения, и именно — молекулярного движения, то при дальнейших исследованиях в области теплоты должно было становиться все более ясным, что в этой области можно будет придти к совершенно надежным общим выводам лишь после того, как будут выработаны более ясные представления о строении того, что движется, о *строении материи*. Многочисленные различные и противо-

¹ „Sitzungsber. der Berl. Akad.“, стр. 159 и 311, 1884; „Journal für rein. u. angew. Mathem.“, XCVII, стр. 111 и 317. Следующие положения изложены по *C. Heim*, *Die Lehre von der Energie*, Leipzig 1887.

94 СЛЕДСТВИЯ ИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

речащие друг другу воззрения, многочисленные споры о началах теории теплоты, противоположные мнения о надежности выводов, даже самое разнообразие предложенных доказательств — все это показывало, что открытие механического эквивалента теплоты и возникновение новых воззрений на сущность теплоты привели не к завершению нового учения, а лишь к началу его. После этого предубежденность физиков против фундаментальных исследований о сущности материи начала постепенно исчезать, и новый пересмотр, по крайней мере, этих понятий, становился все более неизбежным. *Представляет ли собою теплота чисто поступательное движение молекул или же она предполагает также и их вращение? Чем отличаются друг от друга тепловые движения в газах, жидкостях и твердых телах, в какой мере они тормозятся молекулярными силами и насколько глубоко влияет на них внутренняя работа в веществах? Являются ли молекулярные силы только притягательными и достаточно ли живой силы теплового движения для объяснения упругости и т. п., или же теперь, когда уже нельзя приписывать теплорода отталкивательной силы, последнюю следует перенести на весомую материю? Нельзя ли даже совершенно исключить элементарные молекулярные силы и объяснить все явления природы движениями мельчайших частиц материи?* Все эти вопросы требовали своего разрешения и побуждали даже физиков-экспериментаторов вернуться к умозрениям о сущности материи. Что последние осознали эту потребность и изъявили готовность пойти навстречу, становилось все более ясным по мере приближения к концу 60-х годов. Но так как не было никаких сомнений в том, что в твердых телах молекулярные силы должны проявляться наиболее сильно, а в газах наиболее слабо, то по началу отвлеклись от исследования твердых и жидких тел и разработали только механическую теорию газов. Сознательное начало такой систематической разработки было положено Клаузиусом в 1857 г. в его труде «Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen» («О роде движения, которое мы называем теплотой»). Эта работа вводит нас вполне определенно в последнюю фазу теории теплоты и одновременно в *новейший период физики*, с нее мы и начнем наше положение в следующем отделе.

Теперь же нам остается упомянуть о некоторых положениях, выведенных почти одновременно У. Томсоном, Клаузиусом, Ранкином и др., в скором времени после установления новой теории теплоты. *Из расхождения значения, полученного для механического эквивалента единицы теплоты Джоулем, с тем числом, которое получается из удельной теплоемкости воздуха*, легко пришли к тому выводу, что число 0,2669, полученное Деларошем и Бераром для удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении, должно быть слишком велико. В 1859 г. Ранкин исчислил эту величину обратно из механического эквивалента Джоуля и нашел, что она должна быть равна 0,2404 ¹, — результат, оказавшийся очень близким к числу 0,2375, полученному позднее экспериментальным путем Реньо. В 1849 г. Джемс Томсон

¹ „Edinburgh Trans.“, XX, стр. 191; доложено 2 декабря 1850 г.; „Pogg. Ann.“, LXXXI, стр. 175, 1850.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ. ТОЧКА ЗАМЕРЗАНИЯ 95

вывел из формул Клапейрона закон, согласно которому *точка замерзания воды должна зависеть от давления*¹. У. Томсон² подтвердил этот закон экспериментальным путем и показал, что вообще точка плавления твердого тела с повышением давления понижается, если это тело в твердом состоянии занимает больший объем, чем в жидком, и, наоборот, повышается при обратном соотношении объемов. В частности, для точки замерзания воды он нашел понижение на $0,0135^\circ \text{ F}$ на каждую атмосферу давления. Клаузиус присоединился к этому выводу и со своей стороны показал, что и из его понимания закона Карно вытекает зависимость точки замерзания от давления³. Очень важный для теории паровых машин (хотя и принятый не без возражений) вывод из первого начала теории теплоты был сделан одновременно Ранкиным⁴ и Клаузиусом⁵, а именно, что насыщенный водяной пар должен при расширении частью оседать в жидком виде, а при сжатии должен переходить в перегретый пар⁶. Еще важнее для всей теплотехники был новый метод оценки работоспособности паровых машин, разработанный У. Томсоном⁷, Ранкиным⁸ и Клаузиусом⁹ при исследовании ими

¹ „Edinburgh Trans.", XVI, стр. 575, 1849. James Thomson — старший брат Уильяма, гражданский инженер в Глазго.

² „Exp. on the effect of pressure in lowering the freezing point of water", „Philosophical Magazine" (3), XXXVII, стр. 123, 1850; „Pogg. Ann.", XXXI стр. 163.

³ „Pogg. Ann.", LXXXI, стр. 168, 1850.

⁴ „Edinburgh Trans", XX, стр. 147, 1853 (доложено 4 февраля 1850 г.). Ранкин говорит: „Когда температура данной массы водяного пара повышается и в то же время ее упругость поддерживается на максимуме путем сжатия, то вызванная сжатием теплота оказывается больше той, какая была бы нужна для повышения температуры, и тогда избыток тепла отдается на сторону. С другой стороны, когда насыщенный пар расширяется и одновременно поддерживается при температуре насыщения, то тепло, расходуемое на расширение, больше того, какое освобождается благодаря понижению температуры; следовательно, эта потеря тепла должна быть покрыта извне; в противном случае часть пара должна была бы конденсироваться, — чтобы дать теплоту, необходимую для расширения остальной части пара".

⁵ „Pogg. Ann.", LXXIX, стр. 391, 1850. Клаузиус сопровождает свой вывод следующим замечанием: „Конечно, этот вывод прямо противоречит приведенным выше обычным представлениям, но, я полагаю, он не находится в противоречии ни с одним опытным фактом".

⁶ У. Томсон отмечает по поводу этих выводов („Philosophical Magazine" (3), XXXVII, стр. 387; „Pogg. Ann.", LXXXI, стр. 477): так как в струе пара, вырывающегося из парового котла, можно держать руку не обжигаясь, то вывод Ранкина должен быть неверен или же пар при своем истечении должен получать теплоту. В заключение он приходит к выводу, что теплота, необходимая для предотвращения сжижения пара, получается в результате трения при его истечении („Edinburgh Trans.", XX, стр. 287—288).

⁷ „On the Dynamical Theory of Heat", „Edinburgh Trans.", XX, стр. 261.

⁸ „Edinburgh Trans.", XX, стр. 147, 195 и 205; „Phil. Trans.", CXLIV, стр. 115, 1854. Об обширном труде Ранкина „A manual on the steam engine and other prime movers" (London and Glasgow 1859) Рюльман („Handbuch der mechanischen Wärmetheorie", II, стр. 961, 1885) говорит следующее: „Некоторые части этого сочинения, по отзывам авторитетных специалистов, еще не превзойдены новейшими изложениями".

⁹ „Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf die Dampfmaschine", „Pogg. Ann.", XCVII, стр. 441 и 513, 1856. „Die mechanische Wärmetheorie", стр. 247.

96 ТЕОРИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ МАШИН

второго начала теории теплоты, — метод, намеченный уже в сочинении Карно и находившийся в противоречии с господствовавшей до того времени теорией Памбура. По Клаузиусу максимум работы, которую можно получить от идеальной паровой машины, выражается формулой:

$$W = \frac{Q}{A} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1},$$

где Q обозначает все количество израсходованного тепла, A — механический эквивалент теплоты, T_1 — абсолютную температуру более теплого, T_0 — абсолютную температуру более холодного тела ¹. Из этой формулы следовал показавшийся в то время поразительным вывод, что даже в наиболее совершенной паровой машине не все потребленное ею тепло может быть превращено в работу; более того, — что в силу

¹ Клаузиус доказывает эту формулу следующим образом („Pogg. Ann.", XCVII, стр. 453): „Допустим, что Q_1 обозначает те количества тепла, которые последовательно принимает изменяющееся тело, и T_1 — температуры этого тела после того, как оно принимает соответствующие количества тепла; остается еще температура T_0 при которой телу сообщается или же от него отнимается некоторое неизвестное по величине количество

тепла Q_0 . Разложим тогда интеграл второго начала $\int \frac{dQ}{T} = -N$ на две части, из которых одна распространяется на известную величину теплоты Q_1 , а другая на неизвестную Q_0 , и мы получим, так как T_0 имеет известное значение:

$$\int_0^{Q_1} \frac{dQ}{T} + \frac{Q_0}{T_0} = -N,$$

или

$$Q_0 = -T_0 \int_0^{Q_1} \frac{dQ}{T} - T_0 N.$$

Но так как все рассматриваемое количество тепла равно $Q_1 + Q_0$, то вся работа

$$W = \frac{1}{A} (Q_1 + Q_0),$$

или

$$W = \frac{1}{A} \left(Q_1 - T_0 \int_0^{Q_1} \frac{dQ}{T} - T_0 N \right).$$

Если теперь принять, что соответствующий круговой процесс является обратимым и что количество тепла Q_1 сообщается при постоянной температуре T , то $N=0$ и

$$\int_0^{Q_1} \frac{dQ}{dT} = \frac{Q_1}{T_1},$$

а отсюда прямо следует:

$$W = \frac{Q_1}{A} \cdot \frac{T_1 - T_0}{T_1}.$$

существующих взаимоотношений, при значительной высоте температуры всех применяемых тел над абсолютным нулем, большая часть тепла должна бесполезно переходить с одной части машины на другую или тратиться на изменение внутреннего состояния тела.

Эти неблагоприятные результаты, полученные по отношению к работоспособности паровых машин, побудили заняться опытами по устройству *других термодинамических машин*. Из вышеприведенной формулы для максимальной работы термодинамической машины было ясно, что работоспособность машины значительно возрастает с увеличением разности температур $T_1—T_0$. Так как температуру конденсатора нельзя понизить ниже известного предела, то представлялось целесообразным *насколько возможно повысить температуру T_1* . Последнее представлялось легче достижимым с воздухом, чем с насыщенным паром; поэтому так называемые *калорические* машины, или машины с *нагретым воздухом*, были встречены очень сочувственно. В начале пятидесятых годов появилось очень много работ, частью весьма благоприятных, о действии и теории изобретенной в 1850 г. Эриксоном ¹ калорической машины, то же самое повторилось и в начале 60-х годов, когда Эриксон описал усовершенствованную калорическую машину. В конце концов, однако, выяснилось, что эти машины, не имея никаких теоретических преимуществ перед паровыми, в практическом отношении не в состоянии соперничать с ними ². Такая же участь, казалось, угрожала изобретенной в 1860 г. Ленуаром ³ газовой машине, однако после того как Отто ее усовершенствовал в 1865 г., она благодаря своему удобству и дешевизне стала получать все большее применение в небольших промышленных предприятиях.

МЕХАНИКА (приблизительно от 1840 до 1860 г.). Для *аналитической механики* золотой век миновал; в виде завершенной науки она была изложена в более новых учебниках Пуассона (1-е издание 1811 г., 2-е издание 1833 г. и т. д.) и Дюгамеля (1845—1846) и др. *Синтетический метод*, в свою очередь, тоже снова упрочился в механике и требовал лишь систематической разработки, более приспособ-

¹ Машины, действующие нагретым воздухом, были изобретены уже в начале нашего столетия Ньепсом (1806 г.), Каньяр-Латуром (1809 г.), Монгольфье и Дэмом (1816 г.), Штирлингом (1827 г.) и Эриксоном (1833 г.), но потом были оставлены. Johann Ericsson (1803—1899 г., род. в Швеции, умер в США) усовершенствовал в 1826 г. паровой винт, а в 1861 г. построил панцирное судно „Монитор“.

² Клаузиус в своей работе 1856 г. („Pogg. Ann.“, XCVII, стр. 474) говорит о калорических машинах: „Таким образом легко понять то, что было уже высказано С Карно и вслед за ним многими другими авторами, а именно, что для наиболее выгодного устройства тепловых машин необходимо, главным образом, стараться увеличивать температурный интервал $T_1—T_0$. Так, например, существенных преимуществ для калорических машин перед паровыми можно ожидать, лишь при том условии, если удастся добиться того, что первые будут работать при значительно более высоких температурах, которые для паровых машин не допустимы вследствие опасности взрыва. Но, с другой стороны, того же самого можно достигнуть с помощью перегретого пара, ибо как только пар отделен от жидкости, его можно так же безопасно дальше нагревать, как постоянный газ“. — Однако, как известно, и для калорических машин высокие температуры *были* вредны, так как при них машина не может длительно сохранять ровного хода.

³ Патенты на газовые машины взяли в 1858 г. итальянцы Барсанти и Маттеуччи и француз Гюгон; в 1860 г. — Льюис; в 1866 г. Отто и Ланген в Кельне.

98 ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ И ЕГО ПОПЫТКИ ОБОСНОВАНИЯ

ленной для нужд преподавания. В результате условия теперь сложились таким образом, что *экспериментальная индуктивная* механика снова взяла перевес над математической дедуктивной, что от недавно еще излюбленной механики твердых тел обратились к *механике жидкостей и газов* или даже прямо к *молекулярной механике*. Однако при тогдашних условиях это привело к *разрозненности* механических работ, как в математической, так и в эмпирической области. В течение этого периода исследования механиков отличаются той особенностью, что они вызываются не столько самостоятельными связными идеями, возникающими в области самой механики, сколько особыми целями, зачастую вызванными запросами других физических дисциплин. В особенности это относится к работам в области молекулярной механики. Потребность создания молекулярной физики чувствовалась все сильнее и сильнее; но в этой области работали без ясных руководящих идей о возможном ходе исследования; каждый физик работал над проблемой, где в силу личной склонности или по особым внешним условиям он ожидал наибольших результатов.

Понятие о силе неизменно приводило к новым загадкам. Параллелограмм движений, который был выведен Ньютоном и Кантом путем допущения различных относительных движений в различных относительных пространствах и был признан ими достаточным для обоснования параллелограмма сил, теперь считался уже недостаточным. Последний пытались прямо вывести из господствовавших тогда представлений о притягательных и отталкивательных силах, действующих непосредственно на расстоянии, однако при этом все же не могли придти к полному согласию относительно надежности приведенных доказательств. За основу этих доказательств большею частью принимали, в качестве *физической аксиомы*, положение, что *равнодействующая двух равных сил направлена по линии, делящей пополам угол, образуемый этими силами*. Для большей доказательности этого положения указывали на то соображение, что нет никаких оснований для того, чтобы равнодействующая пошла ближе к одной или другой составляющей, но при этом из осторожности ¹ порой еще прибавляли, что эта аксиома подтверждается опытом. Последнее замечание ясно показывало, что эта аксиома все-таки не считалась совершенно безукоризненной, и потому-то многие математики продолжали свои изыскания с целью найти более наглядные или же более принципиально обоснованные доказательства параллелограмма сил.

¹ См. „Lehrbuch der analytischen Mechanik“ von Duhamel, übersetzt von Schlömilch I, стр. 9 и 10, Leipzig 1858. Для того чтобы показать, что при неравных силах их равнодействующая по своему направлению совпадает с диагональю параллелограмма, построенного на силах, Дюгамель делит отрезки, представляющие силы, на определенное число равных частей и из точек деления проводит линии, параллельные сторонам параллелограмма, другими словами, он разбивает параллелограмм сил на ромбы. Пользуясь, помимо приведенного выше, еще и другим допущением, что *силы можно перемещать по их направлению* и что *силы, имеющие одинаковое направление, прямо суммируются*, он смог показать, что две подлежащие сложению силы могут быть перенесены параллельно самим себе в другой конец диагонали, чем, в сущности, доказательство и доводится до конца.

ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ И ЕГО ПОПЫТКИ ОБОСНОВАНИЯ 99

Гирн¹ положил в основание своего доказательства, — многие признавали это более правильным — *общую проблему проектирования силы на какое-либо определенное направление и попытался* ограничиться допущением, что проекция силы P на определенное направление, образующее с направлением силы угол θ , равна $Pf(\theta)$, причем, конечно, в результате доказательства получилось равенство $f(\theta)=\cos\theta$. Подобным же образом, но только в обратном порядке, А. фон-Эттингсгаузен² для двух прямоугольных составляющих положил угол α между одной из составляющих и равнодействующей равным функции отношения между составляющими, т. е. $\alpha=f(Q/P)$, а затем путем дифференцирования и интегрирования доказал, что эта функция является круговой, а именно $\alpha=\arctg(P/Q)$ или $\operatorname{tg}\alpha=(Q/P)$. Мебиус³ признал достаточным применить для доказательства параллелограмма сил только два следующих положения: «1) Равнодействующая сил, лежащих на одной и той же прямой, равна алгебраической сумме их. 2) Если при наличии двух или большего числа сил, действующих на одну точку, каждую из этих сил изменить по величине в одном и том же отношении, не изменяя при этом ее направления, то и величина равнодействующей изменится в том же самом отношении, но направление ее останется неизменным». Однако при этом он без всяких оговорок принимает, что проекции трех находящихся в равновесии сил на любую прямую, в свою очередь находясь в равновесии. После Мебиуса Крелле⁴ в своем журнале дал сразу несколько доказательств параллелограмма сил, из которых одно было основано на законе рычага.

¹ „Philosophical Magazine" (3), XXIX, стр. 258, 1846. Если три силы P , Q и R , лежащие в одной и той же плоскости и образующие с какою-либо прямою в той же плоскости углы θ , $\theta+\alpha$ и $\theta+\beta$, находится в равновесии, то должно иметь место равенство $Pf(\theta)+Qf(\alpha+\theta)+Rf(\beta+\theta)=0$ или, если положить $\theta=0$, $Pf(0)+Qf(\alpha)+Rf(\beta)=0$. Дифференцируя последнее уравнение два раза, получаем:

$Pf'(0)+Qf'(\alpha)+Rf'(\beta)=0$ $Pf''(0)+Qf''(\alpha)+Rf''(\beta)=0$. Если два из этих уравнений помножить на соответствующие коэффициенты λ и μ и сложить с третьим, то получается $f''(\alpha)+\lambda f'(\alpha)+\mu f(\alpha)=0$ или также $f''(\beta)+\lambda f'(\beta)+\mu f(\beta)=0$, откуда следует, что вообще $f''(\theta)+\lambda f'(\theta)+\mu f(\theta)=0$.

Интегрирование последнего уравнения дает $f(\theta)=Ae^{\alpha\theta}+Be^{\beta\theta}$ или, так как функция $f(\theta)$ должна быть периодической, $f(\theta)=A\cos n\theta+B\sin n\theta$. Если, далее, принять, что при $\theta=0$ значение $f(0)$ должно быть равно единице, а при $\theta=\pi/2$ значение $f(\pi/2)$ должно быть равно нулю, легко придти к окончательному выводу, что $f(\theta)=\cos\theta$.

² „Winer Sitzungsber.", II, стр. 155, 1849.

³ „Ber. der Gesellsch. d. Wissensch." zu Leipzig, стр. 10, 1850. А. F. Möbius (1790—1868) — профессор астрономии в Лейпциге.

⁴ „Journ. für reine und angew. Mathematik", XLIV, стр. 220, 1852.

100 ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ

Затем два новых доказательства были даны В. Матцка¹ и Раабе² в 1856 г., а после них в 1857 г. Шлёмилх³ попытался улучшить аналитическое доказательство, построенное в духе Эттингсгаузена, и придать ему большую силу.

Однако все эти доказательства, — а приведенными выше число их далеко еще не исчерпывается, — поскольку они, выходя за пределы движения, стремились достичь своей цели, основываясь на понятии силы, должны были страдать неясностью и ненадежностью. Мы уже раньше отметили, что даже *сложение сил, лежащих на одной прямой*, не вполне бесспорно и даже мало понятно, поэтому неудивительно, что *при сложении сил различных направлений* эти трудности еще значительно возрастают. Закон параллелограмма сил относится к числу проблем о передаче сил, *но все эти передачи могут происходить лишь в материи, поэтому им свойственны и все те неясности, которые связаны с понятием о материи*; ниже мы даже увидим, что, в конце концов, *они и составляют самую сущность понятия о материи*. Ни в понятии о силе, ни в понятии о движении не заключается представления о взаимодействии многих сил или движений, или даже о возможности такого взаимодействия, а тем менее о его характере. Поэтому никакой математик не выведет из одних понятий силы и движения параллелограмма сил, и всякие доказательства, на которых будут основываться такие выводы, являются лишь уловками. *От невольного вторжения последних не спасают, как это показывают приведенные выше доказательства параллелограмма сил, и длинные ряды математических заключений, в которых общие гипотезы подвергаются последующему уточнению*. В основу всякого доказательства параллелограмма сил приходится положить определенные допущения о простейших случаях этой проблемы, которые представляются либо ясными сами по себе, либо твердо установленными на опыте, а из них уже затем выводится общий закон. Эти допущения могут относиться к соотношению двух сил или же к проекции одной силы на определенное направление, но они должны содержать в себе определенные соотношения мер; так, например, доказательства, которые для случая проекции силы стараются ограничиться лишь одним допущением о некоторой неопределенной зависимости величины силы от угла проекции, все-таки вынуждены в процессе своего развития считать силу определенной для отдельных углов проекции, как, например, для 0 или 90°. Ввиду сказанного становятся бесцельными большинство столь искусно построенных доказательств, которые стремятся не к уяснению общего закона с помощью простых, ясных самих по себе частных случаев, а к выводу их исключительно из понятия силы как причины движения, оставляя совершенно в стороне загадку о материи. И действительно, в новейшее время доказательства параллелограмма сил все больше исчезают из оборота, поэтому в учебниках теоретической механики этот закон просто

¹ „Abhandl. d. böhm. Ges. d. Wissensch.“ (5), IX, стр. 1.

² „Vierteljahrschrift d. naturf. Ges. in Zurich“, стр. 223, 1856.

³ „Zeitschr. f. Mathem. u. Physik“, стр. 84, 1857. О. Schlömilch (1823—1901) известный математик издатель названного журнала.

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ 101

принимается в качестве *эмпирически или теоретико-познавательно обосновываемого фундамента всякого представления о силе*.

Если здесь приходилось иметь дело с трудностями скорее *метафизического характера*, лежавшими вне пределов математики, то в этот же период механики встретились и с другими трудностями чисто математического порядка. С середины прошлого столетия, когда механику точки начали расширять до механики физического тела, много и интенсивно занимались *вращательными движениями*; а в последнее время, главным образом благодаря трудам Пуансо, эти проблемы были доведены до известной степени законченности. Теперь стали от более простых проблем переходить к более сложным, с ними связанным. Больше всего привлекли к себе внимание вопросы, разбиравшиеся, впрочем, и раньше, о *движениях вращающихся тел под влиянием внешних возмущающих сил и о собственных движениях отдельных тел на вращающихся системах*; и хотя средства математики были еще как будто недостаточны для полного разрешения этих проблем, однако тот факт, что мы сами находимся на подобной вращающейся системе, на земле, побуждал ученых вновь заняться этими вопросами и притом не только в математическом, но также и в *экспериментальном* направлении.

Тридцать лет спустя после измерений Бенценберга, Ф. Рейх¹ снова занялся *опытами с падающим телами* с тем, чтобы вновь детально

¹ Ferdinand Reich (1799—1882, профессор физики): „Fallversuche über die Umdrehung der Erde“, Freiberg 1832. Несколько лет спустя после этих опытов Рейх, подобно Кавендишу, определил с помощью крутильных весов среднюю плотность земли („Versuche über die mittlere Dichte der Erde etc.“, Freiberg 1838) и нашел для нее число 5,44. Несколько позднее тем же способом Фрэнсис Бели („Experiments with the Torsion Rod etc.“, London 1843; „Philosophical Magazine“ (3), XXI, стр. 111; „Pogg. Ann.“, LVII, стр. 453) получил 5,67. При повторных своих опытах Рейх затем получил более правильное число 5,5832, с вероятною ошибкою в 0,0149 („Pogg. Ann.“, LXXXV, стр. 189). И. Плана вычислил, подобно Лапласу, среднюю плотность земли из увеличения ее плотности по направлению к центру в результате вращательного ее движения, но пришел к маловероятным результатам („Astr. Nachrichten“, XXXV, стр. 177, 1852). Эри использовал выведенное математическим путем положение, что точка внутри шара испытывает со стороны последнего притяжение, равное притяжению шара, имеющему радиус, равный расстоянию притягиваемой точки от центра шара. Наблюдая с помощью качаний маятника силу тяжести на поверхности земли и на дне шахты медных Корнуэлльских рудников, он сначала (1826—1828 г.) не получил удовлетворительных результатов; но затем, в 1854 г., он очень тщательно наладил такие же наблюдения вместе с семью помощниками в угольных копях Нортумберланда. Однако из принятой им плотности земной коры между верхним и нижним пунктами наблюдения он получил для средней плотности земли очень большое и маловероятное число $6,566 \pm 0,0182$ („Phil. Trans.“, стр. 297, 1856; „Pogg. Ann.“, XCIII, стр. 599). Гаутон полагал, что взятое Эри для плотности земной коры число 2,5 слишком велико, так как он не принял во внимание морей; взяв вместо 2,5 число 2,059, он из измерений Эри получил для средней плотности земли 5.489 („Philosophical Magazine“ (4), XII, стр. 50, 1856; „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 332). Однако другие физики указывали, что вследствие ненадежности подобных оценок метод Эри не может дать большей точности, чем метод Маскелайна и Хеттона. Поэтому Жолли в семидесятых годах снова предпринял эти измерения по совершенно новому методу („Wiedem. Ann.“, XIV, стр. 331, 1881). Он установил в башне очень чувствительные весы, к чашкам которых при помощи проволок в 21,005 м длиной были подвешены две другие чаш-

102 ВЗГЛЯДЫ ФИЗИКОВ НА ОТКЛОНЕНИЕ ПАДАЮЩИХ ТЕЛ К ЮГУ

исследовать вызываемые вращением земли *отклонения падающих тел от отвесной линии*. В результате многочисленных опытов в шахте «Трех братьев» во Фрейберге в 1831 г. он нашел, что при высоте падения в 158,5407 м восточное отклонение составило 28,396 мм. Но, *кроме того, и здесь, как у Гульельмини в Болонье и у Бенценберга в Гамбурге, выявилось и необъяснимое южное отклонение*, а именно в 4,374 мм. Рейх говорит по поводу этого отклонения следующее: *«Что касается последнего, то его величина не настолько превосходит вероятную ошибку, чтобы его признать достоверным; однако видишь себя вынужденным повторить слова Бенцинберга: «Странной все-таки остается эта тенденция ошибок в южном направлении»*¹. Тем не менее, в это время большинство физиков придерживалось отрицательного вывода о южном отклонении, который был обоснован Лапласом², Гауссом³ и Ольберсом⁴ в начале нынешнего столетия. Гаусс нашел, что восточное отклонение пропорционально угловой скорости вращающейся земли, а южное пропорционально ее квадрату, что поэтому последнее совершенно незаметно и что это отношение не изменилось бы, если бы даже принять в расчет сопротивление воздуха⁵. Ольберс сначала пришел к такой величине для южного отклонения, которая совершенно согласовалась с результатами, полученными Гульельмини и Бенценбергом, но потом, под влиянием указания Гаусса, он согласился, что и по его выводам найденное им южное отклонение компенсируется другим моментом и, таким образом, совершенно исчезает. А именно, если мы будем отличать направление силы тяжести от отвесной линии, которая представляет собой направление равнодействующей силы тяжести и центробежной силы, и обозначим через r радиус земли, через t время падения, а высоту падения, через h

ки. Испытуемое тело весило тогда на нижних чашках больше, чем на верхних, вследствие большей близости к центру земли. Разность этих весов увеличивалась еще тем, что при обоих взвешиваниях на верхней и на нижней чашках под соответствующую чашку ставился один и тот же свинцовый груз. Из разности этих весовых разностей определялось действие свинцового груза, а с помощью известного удельного веса свинца Жолли установил, что средняя плотность земли равна 5,692. Главные дефекты при этих взвешиваниях — это незначительная величина наблюдаемых весовых разностей, а также, пожалуй, слишком большое расстояние между чашками. В настоящее время физики А. Рихарц и Ф. Кениг проводят новые опыты с улучшенными весами Жолли, причем они поставили себе целью устранить указанные выше недостатки („Wiedem. Ann.", XXIV, стр. №4, 1885).

¹ „Failversuche über die Umdrehung der Erde", стр. 46, 1832.

² „Bull. d. Sciences par la Soc. Philomath." Prairial, an 11, (1803); помещено также в работе Бенценберга, „Versuche über die Umdrehung der Erde", стр. 388.

³ Помещено у Бенценберга, стр. 363.

⁴ Benzenberg, стр. 372. Н. W. Olbers (1758—1840) — практикующий врач в Бремене, знаменитый астроном.

⁵ Там же, стр. 370. Гаусс получает (не принимая в расчет сопротивления воздуха): путь падения = $\frac{1}{2}gt^2 + \frac{1}{6}\cos^2\varphi gn^2t^4$, ...; восточное отклонение = $\frac{1}{3}\cos\varphi gnt^3$, ...; южное отклонение = $\frac{1}{6}\cos\varphi\sin\varphi gn^2t^4$, ..., где n — угловая скорость земли, а φ — высота полюса на месте наблюдения.

ВЗГЛЯДЫ ФИЗИКОВ НА ОТКЛОНЕНИЕ ПАДАЮЩИХ ТЕЛ К ЮГУ 103

продолжительность вращения земли в секундах, через ψ высоту полюса и через g' ускорение падения под влиянием тяготения и центробежной силы, то согласно Ольберсу отклонение (южное) отвесной линии от направления тяготения будет:

$$\lambda = \frac{\arcsin 2\psi}{g'} \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2,$$

но отклонение (южное) упавшего тела от линии тяготения:

$$\lambda' = t^2 r \sin 2\psi \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2,$$

а потому южное отклонение упавшего тела от отвесной линии:

$$\lambda' - \lambda = \left(t^2 - \frac{a}{g'} \right) r \sin 2\psi \left(\frac{\pi}{\tau} \right)^2.$$

Если бы тело падало в пустоте, то было бы $t^2 = a/g$ и соответственно с этим $\lambda' - \lambda = 0$; но вследствие сопротивления воздуха получается $t^2 > a/g$, и $\lambda' - \lambda$ получает некоторую определенную величину, которая, как отмечено, согласуется с опытами Бенценберга и Гульельмини. Однако по Гауссу это не может быть верно; так как воздух по отношению к отвесной линии находится в относительном покое, то его сопротивление действует прямо противоположно падению и не может произвести никакого отклонения. Обе величины, t^2 и a/g , должны в одинаковой мере подвергаться влиянию сопротивления воздуха и величина $\lambda' - \lambda$ должна всегда обращаться в нуль¹. Наконец, небольшое отклонение к югу, происходящее оттого, что наверху, в исходной точке падения, центробежная сила несколько больше, чем в конечной точке, он считал совершенно незаметным.

Однако более оживленная дискуссия по поводу этой проблемы возникла в середине сороковых и начале пятидесятих годов после того, как в 1841 г. Эрстед сделал в Собрании британских естествоиспытателей сообщение о южном отклонении падающих тел². После него Дж. Гершель объяснил это отклонение электрическими земными то-

¹ Так утверждает Ольберс: но в действительности все-таки остается под вопросом, не действует ли воздух на падающее тело иначе, чем на висящий груз.

² „On the deviation of falling bodies", Report British Assoc., 1846; сообщение в „Silliman's Journal" (2), III, стр. 138, 1847. Эрстед выразил пожелание, чтобы Съезд британских естествоиспытателей организовал и финансировал новые измерения, так как методы измерения в последнее время значительно усовершенствовались и все механические работы в Англии достигли большой высоты; при этом можно было бы одновременно измерить скорость падения, а также сопротивление воздуха и газов, и, наконец, здесь можно было бы применить с большой пользой уитстоновский метод измерения времени.

ВОЗЗРЕНИЯ ДЖ. ГЕРТЕЛЯ И ЭРСТЕДА

ками, которые пробегают параллельно кругам широты. Эти токи возбуждают в падающем теле индукционные токи и тем самым толкают его к югу с силою, пропорциональной высоте падения. Эрстед сначала склонялся к этому мнению, но потом примкнул к Грове, который указал, что земные токи находятся как к югу, так и к северу от падающего тела и, следовательно, их действия должны взаимно уничтожаться. Он предложил установить вертикально где-нибудь, например, в глубокой шахте, высокую герметически закрывающуюся трубку и произвести в ней опыты с падающими телами при отсутствии всякого бокового движения воздуха, причем эти опыты могут быть произведены как в безвоздушном пространстве, так и в различных газах. Эти опыты должны были иметь своей целью опять-таки проверку южного отклонения. В. В. Рундель¹ произвел после этого опыты над падением тел в шахте глубиною в $\frac{1}{4}$ английской мили, но нашел для южного отклонения удивительно большое число от 10 до 20 дюйм. По мнению Уильяма Редфильда, определенно не знавшего о работах Гаусса и Ольберса, южное отклонение вполне объясняется тем обстоятельством, что центробежная сила направлена не так, как сила тяжести, т. е. к центру земли, а параллельно плоскости экватора, и потому она дает с силою тяжести равнодействующую, которая в северном полушарии отклонена от вертикали к югу². Вскоре после того Фредерик Пти³, директор астрономической обсерватории в Тулузе, предложил это же самое объяснение в качестве нового, но вполне подходящего и даже очевидного.

Дюпре⁴ исправил ошибку Пти и затем сам исчислил южное отклонение совершенно так же, как его определил Ольберс, который затем

¹ „The Mechanic's Magazine by Robertson", XLVIII, стр. 485; „Die Fortschr. d. Physik im Jahre 1848", IV, стр. 62.

² „Effects of the Earth's Rotation upon Falling Bodies and upon the Atmosphere", „Silliman's American Journal of Science and Art" (2), III, стр. 283, 1847. На стр. 451 того же тома помещена поправка (без имени), в которой обращается внимание на то обстоятельство, что Редфильд объясняет не так называемое южное отклонение, а отклонение отвесной линии от направления тяготения. W. C. Redfield (1879—1857)— механик в Нью-Йорке.

³ „Comptes rendus", XXXIII, стр. 193, 1851. Слова Пти звучат прямо наивно: Аббади мне сообщил, что только недавно в Германии наблюдали отклонение к югу, рассматриваемое, по его словам, различными физиками, которые им занимались, как необъяснимая аномалия, обязанная своим происхождением просто ошибкам наблюдения. Я почти тотчас же указал Аббади, что эта мнимая аномалия является, наоборот, подтверждением вращательного движения земли и что она происходит вследствие расхождения между параллелью и вертикалью, направленной с востока на запад, в которой движутся падающие тела, повинаясь законам Кеплера, тогда как основание вертикали продолжает двигаться вдоль параллели. В ответ на это указание, которое показалось вполне убедительным Аббади, последний предложил мне определить, каково будет отклонение, испытываемое телом, брошенным по вертикали с начальной скоростью от 4 до 500 м... Спустя несколько дней я уведомил Аббади, что отклонение к югу составит не несколько миллиметров, а 50 — 60 м" (стр. 194).

⁴ „Comptes rendus" XXXIV, стр. 102, 1852. Дюпре совершенно правильно говорит по поводу замечаний Пти: „Легко показать, что Пти по недоразумению вместо действительного направления силы тяжести взял вертикальное направление, которое дает нить с грузом" (стр. 103) A. Dupre (1808 — 1869) — профессор математики в Ренне.

ТЕОРИЯ ДЮПРЕ 105

отказался от него после работы Гаусса. Согласно Дюпре, отклонение отвесной линии от направления тяготения таково же, как и у Ольберса:

$$d = \frac{\pi^2 R}{86164^2} \sin 2l t^2,$$

а отклонение падающего тела от линии тяготения, если не принимать в расчет сопротивления воздуха, имеет ту же величину. Но если принять во внимание, что падение тела, вследствие сопротивления воздуха, замедляется на определенное время t' против времени t падения его в безвоздушном пространстве, то для отклонения падающего тела от направления силы тяжести получается:

$$d' = \frac{\pi^2 R}{86164^2} \sin 2l (t + t')^2,$$

а для так называемого южного отклонения, т. е. отклонения от отвесной линии:

$$d' - d = \frac{\pi^2 R}{86164^2} \sin 2l [(t + t')^2 - t^2].$$

«Для падения с высоты 100 м, — говорит Дюпре, — мы имеем приблизительно $t=4,5''$, величиною t^2 можно пренебречь по сравнению с $2lt'$; следовательно, для широты в 45° получается:

$$d' - d = f \cdot 75 \text{ мм.}$$

Отсюда видно, что замедление вследствие сопротивления воздуха на $\frac{1}{10}$ и даже на $\frac{1}{20}$ сек. позволило бы установить опытным путем существование этого рода отклонения». Но этим теоретически дело было доведено до той стадии, на которой его оставили Гаусс и Ольберс. Последующие довольно многочисленные, порою даже значительные работы¹ разрешали эту проблему большей частью в духе Гаусса и получали для южного отклонения, без учета сопротивления воздуха, величину, не превышающую 0,01 мм. Действие сопротивления воздуха, с точки зрения возможного его влияния на отклонение падающих тел, почти уже серьезно не обсуждалось, и найденное Рейхом южное отклонение в 4,374 мм осталось по существу дела неразъясненным, хотя оно и не было сведено к ошибкам наблюдения.

Такие же затруднения, как движение падающих тел, представляло и исследование движения брошенных тел, а также движения артиллерийских снарядов; только у последних, помимо вращения земли, приходилось принимать в расчет еще и вращение движущихся тел. После того как Пуассон в 1838 и 1839 гг. исследовал в двух работах проблему

¹ См. P. A. Hansen, Theorie der Pendelbewegung mit Rücksicht auf die Gestalt und Bewegung der Erde; „Neue Schriften d. naturf. Gesellsch. zu Danzig" V, 1856. Выдержки в „Pogg. Ann.", XCII, стр. 21; C. E. Page, Nouv. Ann. de Mathem. (2), VI, стр. 97, 1867; H. Resal, там же, XI, стр. 348, 1872; H. Bertram, Probleme der Mechanik mit Bezug auf die Variation der Schwere und der Rotation der Erde, Programm der höheren Bürgerschule in Berlin, стр. 26, 1869.

106 ОТКЛОНЕНИЕ СНАРЯДОВ

отклонения снарядов от вертикальной плоскости, проведенной через направление орудия¹, до настоящего времени появилось множество работ на эту тему и неоднократно велись дискуссии в этой области, однако ни одна из предложенных теорий не получила общего признания. Пожалуй, больше всего приверженцев, по крайней мере, среди физиков, приобрела теория Магнуса, который в 1853 г.² вывел отклонение снарядов только из их *вращения* и из *сопротивления воздуха*. Магнус исходит из предположения, что влияние воздуха остается одним и тем же, движется ли рассматриваемое тело в воздухе или же воздух движется относительно покоящегося тела, и затем пытается экспериментально установить это влияние. При этом он ссылается на свои исследования³ «Über die Bewegung der Flüssigkeiten» («О движении жидкостей»), 1850 г., где он показал, что если жидкость втекает с известною скоростью в однородную среду, то давление, перпендикулярное к направлению движения, меньше того, которое было бы в состоянии покоя. В соответствии с этим он мог теперь установить (при помощи небольших пламен и т. п.), что струя воздуха, направленная на цилиндр (или шар), вызывает на нем не повышенное, а уменьшенное давление. Когда цилиндр находится в полном покое, то уменьшение давления с обеих сторон одинаково; если же цилиндр вращается около своей оси, то давление на той стороне, которая движется навстречу воздуху, больше, чем на противоположной стороне, оно даже больше, чем в состоянии покоя. Причиной этого является боковое изгибание воздушного тока около тела. Даже у круглых снарядов, выбрасываемых из гладких орудий, вследствие эксцентричного положения их центра тяжести всегда возникает вращение, а, следовательно, и отклонение от плоскости траектории полета; но только отклонение это происходит в различные стороны, так как вращение происходит в различных направлениях. В цилиндрических снарядах из нарезных орудий, нарезы которых идут вправо, отклонение тоже всегда происходит в правую сторону. Это отклонение происходит оттого, что вследствие сопротивления воздуха вершина (головная часть) снаряда несколько отклоняется вправо. Хотя равнодействующая сопротивления и проходит через ось снаряда, но, вообще говоря, она не проходит через центр его тяжести; произойдет ли отклонение вправо или влево, это зависит, правда, еще от того, встретит ли равнодействующая сопротивления ось снаряда выше или ниже центра тяжести; однако в применяемых ныне снарядах, по-видимому, всегда имеет место первое. Происходящее вследствие этого поднятие вершины снаряда остается, однако, почти незаметным, так как вследствие вращения снаряда, действующие на его массу силы, складываются таким образом, что вершина вместо того, чтобы подниматься, движется в сторону, причем у снарядов, вращающихся вправо, — в правую сторону. В результате этого воздух давит и на центр тяжести снаряда в ту же сторону и вызывает, таким образом,

¹ „Sur le mouvement des projectiles dans l'air, en ayant égard á la rotation de la terre", „Journ. École polytechnique", XXVI, 1838. „S. le mouvement d. proj. dans l'air, en ayant égard á leur propre rotation"; там же, XXVII, 1839.

² „Pogg. Ann.". LXXXVIII, стр. 1, 1853.

³ Там же, LXXX, стр. 1, 1850.

ОПЫТ С МАЯТНИКОМ ФУКО 107

известное отклонение. «Одновременно вершина снижается и потому создается впечатление, будто давление воздуха на заднюю часть снаряда *больше*, чем на переднюю, между тем как в действительности оно на переднюю часть больше, чем на часть, лежащую позади центра тяжести»¹.

В самой тесной связи с исследованиями влияния вращения земли на движение тел на ее поверхности находится *знаменитый опыт Фуко с маятником*, который, правда, был вызван этими исследованиями, но в свою очередь тоже послужил толчком к новым многочисленным исследованиям подобного же рода и вызвал повышенный интерес к последним. Свои первые опыты Фуко произвел в подвальном помещении. Маятник ею состоял из стальной проволоки от 0,6 до 1,1 мм в диаметре и 2 м длины и из полированного латунного шара, весившего 5 кг. Шар был снабжен внизу острием, которое давало возможность отмечать направление колебаний и в то же время служило для прикрепления маятника к стене при помощи петли. Когда после пережигания нити, образующей петлю, маятник начинал колебаться, то по прошествии получаса он показывал уже заметное отклонение от первоначального направления своего колебания. Тот же результат, но более заметный, получился при повторении этих опытов в меридианном зале Парижской обсерватории с маятником в 11 м длины. Фуко опубликовал результаты этих исследований в статье «*Démonstration physiques du mouvement de rotation de la terre au moyen pendule*» («Физическое доказательство вращения земли при помощи маятника») ² и высказал в ней, правда,

¹ „Pogg. Ann.", LXXXVIII, стр. 25.

² „Comptes rendus", XXXII, стр. 135, 1850; „Pogg. Ann.", LXXXII, стр. 458. Уже флорентийские академики наблюдали отклонение маятника, но, по-своему обыкновению, не доискивались его причины. А именно, они рекомендовали для измерения времени подвешивать шар маятника не на одной нити, а на двух расходящихся нитях, „так как обыкновенный маятник, подвешенный на одной нити, при свободном ходе (по какой причине — мы в это входить не будем), незаметно отклоняется от своего первоначального пути и к концу, когда он приближается к покою, уже не описывает более вертикальной дуги, но движется как бы по овальной спирали, в которой колебаний нельзя ни различить, ни подсчитать" („Tentamina exp. nat.", стр. 19). Подобные же указания, основанные на этом наблюдении, встречаются в неизданных работах Вивиани, а также у Тарджиони в его „Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche, accaduti in Toscana" (Firenze 1780), Антинори первый указал на эти места („Pogg. Ann.", доп. том III, стр. 159, 1853). Более основательно и, во всяком случае, гораздо более ясно изложено у Пуансине де-Сиври сохранение плоскости качания в примечании к переводу „Historia naturalis" Плиния (т. XII, стр. 486, Paris 1782). „Имеется средство получить компас без магнита; этого можно достичь с помощью маятника, приведенного в колебание по определенному направлению, отнесенному к каким-либо двум противоположным странам света; ибо корабль при своих поворотах этим не нарушит направления, однажды сообщенного маятнику. Таким образом, следует только поддерживать его в движении при помощи какой-либо равномерной силы, а именно при помощи движущей силы, постоянно направленной сверху вниз" (Dehaut в „Comptes rendus", LI, стр. 575, 1860). Поггендорф справедливо заключает, что эти слова указывают на наличие еще одного предшественника в этом деле, так как Пуансине де-Сиври не был ни математиком, ни физиком, а был литератором и драматическим писателем („Pogg. Ann.", CXII, стр. 495, 1861). Сам Фуко говорит о возникновении своего открытия („Pogg. Ann.", XXXII, стр. 459): „Независимость плоскости колеба-

108 ЗАКОН ВРАЩЕНИЯ МАЯТНИКА ФУКО

без всякого вывода, следующий закон: *Видимое вращение плоскости колебания маятника равно произведению углового движения земли на синус географической широты теста подвеса маятника*¹.

Это прямое наглядное доказательство вращения земли, естественно, возбудило величайший интерес среди всех образованных людей и немедленно вызвало многочисленные работы ученых. Маркс, Кумб, Мариньяк, Юнг, Сильвестр, Таккер, Анстис, Клаузен, Шаар, Габбрайт и Гаутон, Эри, Крэгей, Беллавитис, Вудбург, Эшвейлер и другие уже в 1850 и 1851 гг. дали многочисленные доказательства закона вращения Фуко. Т. Бунт² путем точных измерений при помощи маятника длиной в 53 фут., подвешенного в церкви св. Николая в Бристоле, нашел, что часовое отклонение маятника составляло от $11^{\circ},677$ до $11^{\circ},814$, тогда как теоретически исчисленное отклонение было равно $11^{\circ},763$. Дюфер, Вартман и Мариньяк производили опыты с маятником Фуко в Женеве, Дж. Филиппс в Нью-Йорке, Баден Поуэль в Оксфорде, патер Секки в церкви св. Игнатия в Риме³, Гленс в Гронингене, ван-дер-Виллиген в Девентере, А. Нобль и Кэмпбелл в Музыкальном зале в Квебеке; сам Фуко воспроизвел снова свои опыты в 1855 г. перед многочисленной аудиторией во Дворце выставки в Париже; наконец, в Германии были произведены очень точные опыты в Кельнском соборе, а также в Шпейерском соборе⁴.

При этом неоднократно обнаруживались и *отклонения* от закона вращения Фуко. Г. Кокс устроил таким образом, что два маятника начали одновременно свои колебания в одной и той же вертикальной плоскости, и заметил, что плоскости колебаний с течением времени отнюдь не оставались параллельными. Дюфур, Вартман и Мариньяк нашли, что за 2376 час. маятник отклонился от местного меридиана как начальной плоскости своего колебания на 25° , тогда как такое

ния от точки привеса может быть обнаружена при помощи легко воспроизводимого опыта, который и навел меня на этот путь. Утвердим на оси токарного станка и по ее направлению круглый гибкий стальной прут; затем, выведя его из положения равновесия, приведем его в колебательное движение и предоставим самому себе... Если теперь рукою приведем ось станка во вращательное движение, то увидим, что плоскость колебания не участвует в этом вращении".

¹ Jean Bernard Léon Foucault (1819—1868), с 1845 г. редактор научного отдела „Journal des Débats", с 1855 г. физик при Парижской обсерватории, с 1862 г. член Бюро долгот.

² „Philosophical Magazine" (4), I, стр. 552; II, стр. 37 и сл., 1851.

³ Эти опыты были опубликованы в записках папской академии dei Lincei („Atti Accad. Nuov. Linc.", IV, 1850—1851); католическая церковь после этого признала правомерным учение о движении земли.

⁴ Бравэ теоретически вывел, что конический секундный маятник в Париже уходит вперед почти на три секунды в сутки, когда он вращается с востока на запад, по сравнению с маятником, вращающимся в обратном направлении („Comptes rendus", XXXVII, стр. 166; „Pogg. Ann.", LXXXVI, стр. 315), и подтвердил этот вывод опытами в Парижской обсерватории („Comptes rendus", XXXVIII, стр. 195; „Pogg. Ann.", LXXXVI, стр. 318). Он высказывает по этому поводу следующие широкие ожидания: „На основании предыдущих замечаний можно надеяться, что способность известных веществ вращать плоскость поляризации света и распространять с неодинаковой скоростью эфирные колебания с правым и левым вращением, — получит более полное объяснение" („Pogg. Ann.", LXXXVI, стр. 317).

ЗАКОН ВРАЩЕНИЯ МАЯТНИКА ФУКО 109

же отклонение от перпендикулярной к меридиану плоскости получилось уже за 2110 час.

¹. Дюфур полагал, что такая разница во времени слишком велика, чтобы ее можно было объяснить ошибками наблюдения. Скорее можно думать, что существует какая-то зависящая от общего движения *возмущающая причина, которая отклоняет маятник от плоскости, перпендикулярной к меридиану, больше, чем от плоскости этого последнего*. Эта возмущающая причина проявляется таким образом, что колебания маятника, начинающиеся в плоскости, перпендикулярной к меридиану, становятся эллиптическими, тогда как обычно они оставались точно в одной плоскости. Дюфур полагал, *что этой возмущающей силой может быть центробежная сила вращающейся земли* ². Эти интересные наблюдения нашли много сторонников, но встретили также немало возражений. Зантедески подтвердил их без всяких оговорок, но Уокер пришел к совершенно противоположным результатам, а Моссоти нашел, что влияние азимута на скорость вращения (вообще незаметно. Наконец, Понселе ³ в 1860 г. показал, что даже на полюсе радиус-вектор, проведенный из положения покоя маятника к каждой из его горизонтальных проекций, может двигаться с равномерной скоростью только при совершенно особых условиях, которые практически невыполнимы. Равным образом наблюдавшийся уже флорентийскими академиками регулярный *переход плоских колебаний маятника в эллиптические* снова возбудил удивление наблюдателей, хотя открыть особых причин этого явления и не удалось. Наконец, пришли к заключению, что вернее всего будет искать объяснение всех неправильностей в ходе колебаний маятника и вращения плоскости качаний не во вращении земли, а в случайных, но, тем не менее, почти всегда действующих причинах, как влияние *способа подвеса и пуска маятника, сопротивление воздуха, воздушные токи* и т. п. П. А. Ганзен ⁴ в 1856 г специально показал, что наряду с вращением земли на движение плоскости колебаний оказывает влияние и происходящее в большинстве случаев *вращение шара маятника* (влияние, которое в зависимости от направления вращения либо увеличивает, либо уменьшает скорость вращения плоскости колебаний) и что *сопротивление воздуха* значительно усиливает все возмущающие действия. Этим, казалось, исследование данной проблемы было доведено до известной степени законченности. Актуальный научный интерес к ней все более и более ослабевал; опыт с маятником Фуко из перворазрядной сенсации, вызывавшей всеобщее удивление, превратился в обычный и даже зачастую оставляемый в пренебрежении лекционный эксперимент. Еще в 1858 г. берлинские «*Berichte über die Fortschritte der Physik*» отметили свыше 20 более или менее значительных научных работ по поводу опыта Фуко; но уже в следующем году их число понизилось до трех, а вслед затем оно упало до нуля.

¹ „Comptes rendus“, XXXIII, стр. 13; „Pogg. Ann.“, LXXXIV, стр. 149.

² „Pogg. Ann.“, LXXXIV, стр. 150.

³ „Comptes rendus“, LI, стр. 467 и 511.

⁴ „Schriften d. naturforsch. Ges. in Danzig“, т. V, тетр. 1. В извлечении в „Pogg. Ann.“, XCII, стр. 21. Р. А. Hansen (1795—1874 г.) — известный астроном в Готе.

Трудности, которые встретились при *математической* разработке явления вращения, побудили физиков и в особенности Фуко *придумать вращательные приборы*, которые позволили бы наглядно вывести законы вращающихся тел. Боненбергер ¹ уже в 1817 г. построил свою маленькую машину для демонстрации явлений вращения небесных тел, состоявшую из шара, подвешенного по способу Кардана в двух подвижных кольцах. И вот в 1852 г. Фуко ² дал под именем *гироскопа* упрощенную, но улучшенную форму этой машины. Гироскоп состоял только из одного диска, вращающегося в кольце около неподвижной оси. Когда диск приводили в быстрое вращение, то кольцо можно было поставить на неподвижное острие штатива, даже таким образом, что аппарат стоял наклонно на острие и диск не падал с острия. С помощью этого гироскопа Фуко прежде всего доказал следующие частные законы ³. *Если оси вращения позволить двигаться только по горизонту, то ось стремится установиться в меридиане и притом таким образом, что вращение прибора происходит так же, как вращение земли; если же оси позволить двигаться в меридиане, то она устанавливается параллельно оси земли.* Вскоре за тем он дал общий закон ⁴: *«Если какое-нибудь тело вращается около одной из своих главных осей и какая-нибудь сила или система сил стремится вызвать другое, не параллельное первому вращению, то конечным эффектом этого является переход оси вращения в положение оси этого второго вращения и притом таким путем, что первоначальное вращение происходит параллельно новому».* Это экспериментальное исследование проблемы вращения возбудило, совершенно так же как и предшествующий опыт с маятником, общий интерес физиков и равным образом вызвало много работ на ту же тему и изобретение нескольких усовершенствованных приборов. Еще в том же томе «Comptes rendus», в котором появились работы Фуко, Персон, Ке и другие напечатали свои статьи по тому же вопросу. Сир ⁵ и Ламарль ⁶ указали, что они еще ранее Фуко, в 1851 г., устроили или описали вращательные приборы, однако при наличии ранее сконструированного аппарата Боненбергера это не могло возбудить особенного внимания. Механик Фессель устроил в 1853 г. свою усовершенствованную вращательную машину Фуко, которую Плюкер ⁷ горячо рекомендовал и сам применял при

¹ „Beschreibung einer Maschine zur Erläuterung des Gesetzes von der Umdrehung der Erde“, „Gilbert's Ann.“, LX, 1818.

² „Comptes rendus“, XXXV, стр. 421, 1852. ³ Там же, стр. 425.

⁴ Там же, стр. 602.

⁵ Сир напечатал в „Cosmos“ (т. I, стр. 603, 1852) письмо некоего Террье, который уже в декабре 1851 г. заказал ему вращательную машину.

⁶ Ламарль сообщил в „Bull. de Brux.“ (т. XIX, стр. 31, 1852), что он еще 5 апреля 1851 г. передал в Брюссельскую академию запечатанный конверт в котором содержалось описание вращательной машины.

⁷ „Pogg. Ann.“, XC, стр. 174. Слова Плюкера характерны для тогдашнего состояния теории вращения: „Пуассон в особой главе своей механики уже определил движение, которое получает тело, вращающееся вокруг своей оси под действием тяжести, — в том случае, когда эта ось может свободно двигаться около одной из своих точек. Равным образом новейшая работа г. Пуансо, — большая заслуга которого заключается в таком изложении яв-

дальнейших исследованиях ¹. В том же году Поггендорф подтвердил хвалебный отзыв Плюкера о машине Фесселя и дал часто затем повторявшиеся популярные доказательства ее законов ¹. Магнус, Уитстон и Баден Поуэль еще в 1854 г. опубликовали важные статьи на ту же тему.

В связи с этими исследованиями движений вращающихся систем находились, по крайней мере, вначале, и знаменитые опыты Плато ² «О явлениях в свободной и не подверженной действию тяжести массе». Его прибор представлял собой открытый сверху сосуд, сделанный из плоских стеклянных пластинок шириной в 25 см, и высотой в 20 см, вклеенных в железную раму. Сосуд наполнялся смесью воды и алкоголя, в которой плавала масса оливкового масла равного удельного веса; находясь под влиянием только силы сцепления своих частиц, она принимала форму шара ³. Через середину сосуда проходила тонкая железная ось, на которой, на половине ее высоты, находился перпендикулярный к ней диск в 35 мм в диаметре; этой оси можно было извне сообщать вращательное движение. Когда масляный шар помещали на диск, предварительно смазанный маслом, то он распределялся симметрично и вращался вместе с диском. Масляный шар диаметром в 6 см, который в спокойном состоянии представлялся несколько растянутым вдоль оси, при вращении тотчас же сплющивался у полюсов. При скорости вращения от двух до трех оборотов в секунду шар становился около оси полым и, наконец, превращался в правильное кольцо, которое, однако же, оставалось соединенным с диском тонкой пленкой и отрывалось от него только тогда, когда вращение внезапно прекращали. Образующая поверхность кольца представлялась тогда кругом; у небесных тел, как, например, у Сатурна, сама планета могла вызвать сплюснутость кольца; и здесь оно представлялось сплюснут-

ления вращательного движения, что отдельные этапы его вывода можно проследить глазами, — содержит общие результаты, которые легко можно применить к вышеуказанному случаю. Тем не менее, рассматриваемые явления до сих пор все-таки остаются для нас мало наглядными, и потому мне кажется счастливым совпадением, что г. Фессель... со своей стороны устроил прибор, который, представляя наглядно эти явления, поражает всякого наблюдателя и способен на мгновение изумить даже посвященного" (стр. 174).

¹ „Pogg. Ann.“, XC, стр. 548.

² „Mém. de l'Acad. Brux.“, XVI, 1843 г.; „Pogg. Ann.“, дополнительный том II, стр. 249. Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801—1883) изучал по желанию своего опекуна сначала право, но затем занялся математикой, физикой и химией в Люттихе. В 1827 г. он стал преподавателем математики в Люттихе, в 1830 г. — в Брюсселе, с 1835 г. — профессор экспериментальной физики в Гентском университете. В 1843 г. он совершенно ослеп, но, несмотря на это, продолжал при содействии преданных учеников и друзей свои экспериментальные открытия с почти неослабевающим успехом („Annuaire de l'Acad. Royale de Belgique“, стр. 389, 1885).

³ Относительно повода к этим исследованиям биограф Плато говорит в „Annuaire de l'Acad. Roy. de Belgique“ 1885, стр. 422: „Его препаратор налил немного масла в сосуд, содержащий смесь воды с алкоголем; профессор с удивлением увидел, что маленькие массы масла приняли сферическую форму; он тотчас же применил свое правило „вовремя удивляться“. Наблюдаемое явление послужило затем для него предметом долгих размышлений, и он задумал систему опытов, которым предстояло блестящее будущее“.

112 ФИГУРЫ РАВНОВЕСИЯ ЖИДКИХ МАСС

ным, пока пленка не была разорвана. Плато ставит перед математиками вопрос, могут ли еще какие-нибудь другие фигуры вращающихся жидкостей, кроме эллипсоида, находиться в равновесии; для кольца он полагал бы возможным дать утвердительный ответ. Когда Плато для образования кольца применял большой диск, около 5 см в диаметре, и продолжал движение в момент наибольшего образования кольца, то «при остановке движения пленка, как и прежде, разрывалась, но кольцо не сливалось тогда в сфероид вращения, а распадалось на отдельные массы, которые принимали форму шаров и продолжали вращение, но в то же время получали свое собственное вращение в направлении движения и часто имели около себя еще маленькие масляные шарики, наподобие лун. Удавалось даже получать планетоподобные формы с кольцом; для этого приходилось вращать диск диаметром в 2 см со скоростью 15 оборотов в секунду.

Указанное здесь отношение опытов Плато к теории образования *мировой системы* сам Плато в своих последующих работах назвал *случайным*¹ и в дальнейшем использовал открытый им метод — освобождения вещества от действия тяжести — только для изучения *молекулярных* сил и явлений *капиллярности*. Поэтому он изменил заглавие своих статей, и следующие серии своих работ на эту тему он озаглавил следующим образом: «*Экспериментальные и теоретические исследования о фигурах равновесия жидкой массы, лишенной тяжести*». В первой из этих статей², следовательно, во второй серии всего ряда, он дает общую формулу для поверхностей жидких масс, не имеющих тяжести $1/R + 1/R_1 = C$, где R и R_1 обозначают наименьший и наибольший радиусы кривизны в одной и той же точке поверхностей, а C — постоянную, которая может быть положительной или отрицательной или также может равняться нулю. С помощью того же своего метода ему удалось получить из масляной массы, лишенной тяжести в алкоголе, различного вида фигуры, например цилиндр, для чего он приводил в соприкосновение с маслом два металлических диска одинакового диаметра и затем удалял эти диски друг от друга. Равновесие этого цилиндра оставалось устойчивым, пока высота его не

¹ В следующей своей статье Плато говорит об упомянутой выше первой статье: „Она является почти исключительно экспериментальной, и ее следует рассматривать под этим углом зрения; в то время, когда я ее писал, я еще недостаточно изучил теорию капиллярного действия, и она в этом отношении содержала несколько небольших погрешностей; кроме того, я увлекся аналогиями с астрономическими явлениями, которые могут иметь только случайную связь с результатами моих опытов" („Ann. de chim. et de phys." (3), XXX, стр. 204).

² „Mém. de l'Acad. Brux.", XXIII. 1819; извлечение в „Ann. d. chim. et de phys." (3), XXX, стр. 203. Араго предпосылает в „Comptes rendus", XXIX, стр. 802 этим статьям следующие слова: „Бельгийское правительство оказало науке существенную услугу и оказало самому себе честь, сохранив за несчастным (уже несколько лет назад ослепшим) физиком полное содержание, которое он получал в качестве профессора Гентского университета. Сам Плато при содействии нескольких преданных друзей, снабдивших его своими глазами и производивших опыты под его непосредственным руководством, продолжал свои интересные исследования. Приведенный ниже мемуар служит тому доказательством".

достигала величины утроенного диаметра; при большем удлинении цилиндров они претерпевали, в большинстве случаев в двух местах, сужения, между которыми образовывалось утолщение; под конец цилиндры распадались на отдельные массы, принимавшие форму шара.

В этой же статье Плато приписал наблюдавшиеся еще Саваром интересные формы *водяных струй*, вытекающих из круглого отверстия, действию сцепления, которому не противодействует тяжесть. Эту тему он продолжал разрабатывать в следующей серии своих сочинений ¹. 1856 г. и даже в седьмой серии 1867 г. он снова вернулся к ней ².

Однако новые пути к исследованию капиллярных сил, которые полностью или частично освобождены от противодействия тяжести, Плато открыл в пятой серии своих исследований 1861 г. ³. Он заметил, что масляные пленки в алкоголе принимают на применявшихся в предыдущих опытах проволочных рамках такие же формы, как и мыльные пленки в воздухе; он решил, что и у последних, благодаря их тонкости, тяжесть может иметь только ничтожное влияние по сравнению со сцеплением, и потому занялся *специальным изучением формы подобных мыльных пленок*. Одну весовую часть марсельского мыла растворили в 40 частях дистиллированной воды, по охлаждении эту жидкость профильтровали и к ней прибавили $\frac{2}{3}$ объема глицерина. Спустя некоторое время получается осадок, который удаляется посредством сифона. Полый шар из этой жидкости в 100 мм диаметром держался целых три часа, а жидкость оставалась пригодной в течение целого года. Погружая различные проволочные фигуры в эту жидкость и наблюдая получающиеся при этом жидкие пленки, Плато установил следующие законы: 1) в одном и том же ребре *жидкости* никогда не сходятся более трех пленок и эти последние образуют между собой равные углы; 2) если внутри системы жидких пленок несколько жидких ребер встречаются в *одной и той же точке*, то их всегда бывает четыре, и они образуют между собой равные углы; 3) для каждой точки жидкой пленки, которая не принадлежит к замкнутой поверхности, образовавшейся на жидкости, сумма обратных величин радиусов кривизны равна нулю; если же точка принадлежит к замкнутой поверхности, то эта сумма имеет постоянную величину. Для давления p , которое производит шарообразный мыльный пузырь диаметром d на находящуюся внутри его массу воздуха, получилось на основании теоретических рассуждений выражение $p=2hp/d$, где h обозначает капиллярную высоту поднятия жидкости в волосной трубке 1 мм в диаметре, а ρ — плотность жидкости. Плато считал возможным допустить, что толщина жидкой пленки, образующей мыльный пузырь, вообще больше двойного радиуса сферы действия молекулярного притяжения, но в момент разрыва пузыря она должна быть почти равна

¹ „Mem. de l'Acad. Brux.", XXX, 1856. Четвертая серия („Mém. de l'Acad. Brux.", XXXI; „Pogg. Ann.", CVII, стр. 394, 1860) содержит исследования „О других фигурах равновесия при вращении, отличных от шара и цилиндра".

² „Mém. de l'Acad. Brux.", XXXVI; „Pogg. Ann.", CXXX, стр. 264, 1867.

³ „Mém. de l'Acad. Brux.", XXXIII; „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 597.

114 КАПИЛЛЯРНОСТЬ И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

этому двойному радиусу. На основании цветов тонких пленок их толщина определилась в $\frac{1}{8811}$ мм; следовательно, *радиус сфер молекулярного действия* должен был бы составить $\frac{1}{17622}$ мм или круглым числом $\frac{1}{17000}$ мм¹.

В шестой² и восьмой³ сериях Плато обстоятельно занялся исследованием причин, которые могут обусловить как *возникновение*, так и *сохранение жидких пластинок*. При этом он пришел к убеждению, что эти причины следует искать не только в вязкости жидкостей, но еще больше в их *поверхностном натяжении*, так как у жидкостей с приблизительно равной вязкостью способность образования пластинок может быть совершенно различной. Это поверхностное натяжение, которое действует против вязкости и всегда стремится разорвать пластинки, зависит от природы жидкости и изменяется в обратном отношении к температуре; но, с другой стороны, оно не зависит от кривизны поверхности и от толщины пластинки, по крайней мере, до тех пор, пока эта толщина не становится меньше двойного радиуса молекулярного притяжения. С точки зрения способности образовывать пластинки следует различать *три рода жидкости*. *Первый из них* дает при взбалтывании немного пены; его пластинки недолговечны и не дают никаких или же мало цветов; им следует приписать большое поверхностное натяжение и большую внешнюю, чем внутреннюю, вязкость. К этой группе жидкостей принадлежат вода, глицерин, концентрированная серная кислота и т. д. *Второй род* жидкостей образует быстро появляющиеся, но и быстро исчезающие пузыри с сильным окрашиванием, он отличается от первого незначительным капиллярным поверхностным натяжением и большею внутреннею, чем внешнею, вязкостью. Сюда принадлежат жирные масла, алкоголь, бензин, сернистый углерод и др. Наконец, *третий род* жидкостей образует при взбалтывании долго сохраняющуюся пену, легко может выдвигаться в пузыри и его пластинки сохраняются в продолжение часов и даже дней; они обладают малым поверхностным натяжением и опять-таки большею внешнею, чем внутреннею, вязкостью. Примерами таких жидкостей могут служить растворы мыла, яичный белок, расплавленное стекло и т. д. Вопросом о различной устойчивости жидких пластинок Плато занимался и далее, в последних сериях своих исследований⁴, к которым он в заключение приложил очень богатый обзор литературы обо всех прежних работах, посвященных той же теме.

Впрочем, в специальной *теории капиллярности физики* — экспериментаторы давно уже усвоили себе взгляд Пуассона на действие поверхностного натяжения. Г. Гаген⁵ в обширной работе 1845 г. экспериментально вновь подтвердил выводы Пуассона настолько точно, насколько этого можно было ожидать; проведенные им с большим

¹ „Pogg. Ann.“, CXIV, стр. 608.

² „Mém. de l'Acad. Brux.“, XXXIII; „Pogg. Ann.“, CXXX, стр. 149, 1867.

³ „Mém. de l'Acad. Brux.“, XXXVII; „Pogg. Ann.“, CXLI, стр. 44, 1870.

⁴ 9, 10 и 11 серии; „Mém. d. l'Acad. Brux.“, XXXVII, 1868.

⁵ „Pogg. Ann.“, LXVII, стр. 1 и 152. Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen (1797—1884), сначала — гидротехник, под конец жизни — заведующий строительными работами в Берлине.

усердием измерения капиллярных постоянных различных жидкостей при различных условиях тоже были основаны целиком на теории Пуассона. Только в одном пункте представился случай не только превзойти прежних теоретиков, но и исправить их. Если капиллярные явления происходят вследствие молекулярных сил, сцепления, поверхностного натяжения и прилипания, то они должны изменяться под действием всех тех физических сил, которые оказывают влияние на молекулярные силы; следовательно, действие этих сил, каковыми являются, прежде всего, *теплота*, а может быть, и *электричество*, должно быть тщательно изучено. По Вольфу¹ Лаланд впервые в 1768 г. указал, что *капиллярность зависит от температуры* и что теплая вода в капиллярных трубках поднимается на меньшую высоту, чем холодная. Лаплас и Пуассон оба затем согласно вывели, что у *смачивающих* жидкостей свободная поверхность остается при всех температурах всегда одной и той же и что, следовательно, *высоты поднятия при различных температурах должны быть пропорциональны плотности жидкостей*; для несмачивающих жидкостей они не могли установить никакого закона, так как у них форма поверхности изменяется с температурой. Напротив, Бруннер² в 1848 г. на ряде очень точных и многочисленных опытов с водой, безводным эфиром и оливковым маслом показал, что эти теоретические результаты совершенно неверны и что с повышением температуры высоты поднятия убывают гораздо быстрее, чем плотности жидкостей. Согласно его измерениям высоты поднятия в трубках в 1 мм составляют: для воды 15,33215 мм—0,0286396 т, для эфира 5,3536 мм—0,028012 т и для оливкового масла 7,4610 мм—0,010486 т; с этими формулами физики, вообще говоря, согласились. Бейс-Баллот³ отметил только, что он уже в 1844 г. в своей диссертации на получение ученой степени опроверг данные Лапласа-Пуассона и из опытов Франкенгейма вывел для величины a^2 , пропорциональной высоте поднятия, у воды формулу 15,3 мм—0,028 т Гольтцман⁴ указал, что его формула 607—1,1394 т, которую он установил в 1845 г. для сцепления воды, переходит почти точно в бруннеровскую при умножении ее на 15,33215/607. Франкенгейм⁵ даже принял, что высоты поднятия зависят от *квадрата* температуры, и вычислил их по формуле вида $a+bt+ct^2$. Он также сумел доказать, что *понижение уровня ртути*, как того и следует ожидать, сильнее возрастает с температурой, чем уменьшается ее плотность. Наконец, Вольф⁶ экспериментально показал, что, как это неизбежно следует из эмпирических формул, *при достаточно высоких температурах поднятие воды в капиллярных трубках действительно может перейти в депрессию (снижение)*.

¹ „Ann. de chim. et de phys.“ (3), XLIV, стр. 230; „Pogg. Ann.“, CI, стр. 550, 1857

² „Pogg. Ann.“, LXX, стр. 481. С. Brunner (родился в 1823 г., отец его — С. Е. Brunner) — профессор физики в Берне.

³ „Pogg. Ann.“, LXXI, стр. 177.

⁴ Там же, стр. 463.

⁵ Там же, LXXII, стр. 177 и LXXV, стр. 229.

⁶ „Comptes rendus“, XLII, стр. 968, 1855.

116 ЭНДОСМОТИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ

Однако действия *электрических сил* на капиллярные явления не удалось констатировать. Дрэпер¹ в 1846 г. высказал мысль о существовании связи между этими явлениями; но Бруннер² не мог констатировать какого-либо заметного изменения высоты поднятия ни при размыкании, ни при замыкании тока по спирали, навитой вокруг капиллярной трубки.

Много также было произведено исследований и много было дискуссий по вопросу о роде и *причине связи между капиллярными и диосмотическими явлениями*, тем более что для последних было еще труднее добиться надежных постоянных, чем для первых. Некоторого успеха достиг в этом отношении Жолли в 1849 г.³ Он помещал в трубку, нижний конец которой был затянут животным пузырем, отвешенное количество исследуемой жидкости, опускал эту трубку нижним концом в большой сосуд с водою, которая от времени до времени заменялась чистой водою, и взвешивал жидкость в трубке только тогда, когда ее количество становилось постоянным, т. е. когда в трубке находилась уже только чистая вода. Из этих опытов он вывел закон, что на единицу веса растворенного вещества при прочих равных условиях вступает всегда одно и то же количество воды; это количество он назвал *эндосмотическим эквивалентом* рассматриваемого вещества. Применяя один и тот же кусок свиного пузыря, Жолли нашел следующие величины эндосмотических эквивалентов.

Для сернокислого калия . . . 12,76

Для сернокислой меди . . . 9,564

Для сернокислого магния . . 11,80

Для серной кислоты 0,349

Для сернокислого натрия . . 11,03

Для едкой калийной щелочи 231,40

Правда, при употреблении различных пузырей или даже различных кусков одного и того же пузыря получались некоторые расхождения, но они не были настолько велики, чтобы нельзя было говорить о средних значениях эквивалента. В остальном Жолли подтвердил закон Дютроше, что количество веществ, переходящих в *определенные равные промежутки времени*, пропорциональны концентрациям соляных растворов. Между тем очень скоро были высказаны сильные сомнения в постоянстве так называемого эндосмотического эквивалента. Карл Людвиг⁴ прямо заявил, что величина эквивалента колеблется и, во всяком случае, изменяется с концентрацией растворов, причем даже и характер зависимости эквивалента от концентрации неодинаков у всех жидкостей. А. Фик⁵ даже утверждал, что можно получить различные величины эндосмотического эквивалента, направляя в одном случае ток воды сверху вниз, а в другом — снизу вверх. Хотя Жолли и мог с большой долей вероятности указать в ответ на эти возражения, что полученные отклонения большей частью могут быть приписаны раз-

¹ „Pogg. Ann.", LXVII, стр. 84.

² Там же, LXX, стр. 481 и LXXIX, стр. 173.

³ Там же, LXXVIII, стр. 261. Phillipp Gustav v. Jolly (1809—1884) — профессор физики Мюнхенского университета.

⁴ „Pogg. Ann.", LXXVIII, стр. 307.

⁵ Там же, XCII, стр. 333.

личию применявшихся перепонки, однако, отмеченные, равно как и некоторые другие, обстоятельства создали довольно тесные пределы для применимости найденных Жолли законов, — тем *более* что влияние свойства перепонки на эндосмос совершенно не поддавалось учету.

Невозможность численно учесть влияние перепонки проявилась также и в опытах Грэхема ¹ над диосмосом жидкостей. Последний нашел, что вода вступает в весьма оживленный диосмотический обмен с множеством соляных растворов, имея даже почти одинаковые капиллярные силы с ними ²; на этом основании он пришел к выводу, что точка зрения Пуассона, согласно которой капиллярность является единственной силой, вызывающей диосмос, должна быть признана определенно неверной. По мнению Грэхема при исследовании эндосмотических явлений следует гораздо больше обращать внимание на *химическое различие* между подвергающимися осмосу жидкостями, равно как между жидкостью и перепонкой, а также на различие *электрических состояний* этих веществ, чем на постоянные капиллярности. Какое участие принимает в этом процессе перепонка и вызывается ли действие силы чисто химическим или скорее электрическим различием жидкостей, — этот вопрос Грэхем оставил невыясненным и поэтому дал действующей причине ничего не говорящее название *осмотической силы*. Одно только он признал возможным считать установленным, что *осмотический ток* (движение воды) *всегда идет от кислотных жидкостей к основным, или с положительной стороны перепонки на отрицательную* ³. Одного простого химического различия *между самими жидкостями*, однако, не было достаточно, и там, где к явлению, кроме того, не присоединялось и *химическое действие между жидкостями и перепонкой*, оно теряло свой подлинно осмотический характер и принимало скорее характер чистой диффузии. Либиг ⁴ пытался выяснить влияние перепонки при диосмосе, определяя те количества различных жидкостей, которые может впитать какой-нибудь определенный куст животной перепонки; для такой постоянной величины он предложил даже особое название коэффициента набухания (*Quellungsmenge*). Хотя, таким образом, и было дано новое средство для дальнейшего изучения влияния перепонки, однако введение нового понятия не помогло более детально выяснению истинной причины данного явления; К тому же и здесь дальнейшие изыскания натолкнулись на всегда различные действия отдельных кусков материально совершенно одинаковых перепонки. Многие физики из теоретических соображений стали

¹ „On osmotic force“, „Phil. Trans.“, стр. 177, 1854. Thomas Graham (1805—1869)— профессор химии сначала в Глазго, а потом в Лондоне; с 1855 г. директор монетного двора в Лондоне после Джона Гершеля.

² Так, высоты поднятия в одной и той же трубке достигали для воды 17,75 мм, для 10%-ного раствора хлорноватокислого калия — 17,55 мм, а для 10%-ного раствора хлорноватокислого натрия — 16,85 мм, для 1%-ного раствора щавелевой кислоты — 17,35 мм, для 1%-ного раствора серной кислоты — 16,35 мм, для 1%-ного раствора соляной кислоты—17,50 мм.

³ Лермит показал („Comptes rendus“, XXXIX, стр. 1177; „Ann. de chim. et de phys.“ (3), XLIII, стр. 420), что и этот закон не всегда имеет силу.

⁴ „Liebig's Ann. d. Chem.“, CXXI, стр. 78, 1862.

118 ДИФФУЗИЯ ЖИДКОСТЕЙ

даже склоняться к тому мнению, что различие в действии перепонки или величинах коэффициента набухания зависит только от различной их *пористости*, и, таким образом, были готовы свести диосмотические явления к явлениям капиллярности и диффузии; но по существу это было лишь сведением одного неизвестного к другому, хотя самая мысль об установлении связи между этими явлениями и представляется ценной.

Какие трудности представляло для физиков даже объяснение *свободной диффузии жидкостей*, об этом свидетельствовали новые, поразительные наблюдения Грэхема ¹. Помещая в большой сосуд с водою открытый стакан с исследуемыми с точки зрения диффузии растворами, он нашел, что даже одинаково тяжелые растворы различных солей диффундируют при равных условиях с очень разнообразными скоростями. Так, например, для углекислых калия и натрия количества, перешедшие в воду в одинаковое время и при равных условиях, относились между собою, как 64:36; для других солей это различие было еще больше. При этом происходили даже слабые химические разложения; из кислого сернистого калия диффундировала не одна только соль, но также и некоторое количество свободной серной кислоты; квасцы частично разлагались при диффузии на обе составляющие их соли. Позднее ² Грэхем, наливая с помощью пипетки некоторые растворы на дно наполненного водою сосуда и от времени до времени исследуя небольшие количества верхних слоев жидкости с точки зрения содержания в них диффундировавшего вещества, открыл, что известные органические, некристаллические вещества отличаются крайне незначительною скоростью диффузии. Та же самая концентрация верхних слоев воды, которая для соляной кислоты получалась спустя одни сутки, для поваренной соли наступала через 2,33, для сахара через 7, для сернокислого магния через 7, для яичного белка через 49 и для леденца только спустя 98 дней. В соответствии с этим Грэхем разделил все диффундирующие жидкости на два класса: *на кристаллоиды и коллоиды*. Смеси из обоих этих классов жидкостей, вследствие различия скорости их диффузии, разделяются уже при свободной диффузии, но особенно легко они отделяются друг от друга при диффузии через коллоидную перепонку. *Поэтому Грэхем особенно рекомендовал диализ для очищения коллоидов.*

В это же время Шумахер ³ снова сделал довольно удачную попытку объяснить *диффузию*, а затем и *диосмос* жидкостей молекулярными силами. По Шумахеру все жидкости, если они проявляют друг к другу некоторую степень химического притяжения, стремятся полностью смешаться. Положим, что в некоторой жидкости находятся молекулы какой-нибудь другой жидкости или же твердого тела (растворенной соли); молекулы эти будут испытывать со стороны жидкости притяжения, которые будут неодинаковы по различным направлениям до

¹ „On the diffusion of liquids". „Phil. Trans.", стр. 1 и 895, 1850 и стр. 483, 1851.

² „Liquid diffusion applied to analysis", „Phil. Trans.", стр. 183, 1861; извлечение (из „Proc. of the Royal Soc.") помещено в „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 187.

³ „Pogg. Ann.", CX, стр. 337, 1860.

тех пор, пока вследствие полного смешения не наступит равномерное распределение этих молекул и вместе с тем известное положение равновесия. Если жидкости разделены пористой стенкой, то смешение тоже будет происходить, но только в этом случае скорость и характер его изменятся вследствие присутствия стенки. Если стенка проявляет по отношению к одной из жидкостей большую силу притяжения, то скорость этой жидкости увеличивается и количество ее, прошедшее за определенное время через стенку, будет большим, чем у другой жидкости. Вполне естественно поэтому, что все обстоятельства, оказывающие влияние на молекулярное притяжение, изменяют также и явления осмоса. Однако в такой же мере было естественно, что вследствие неясности молекулярных сил, особенно же действующих между твердыми телами и жидкостями, этой теории не было придано большого значения. Диффузия и диосмос жидкостей представляют собою настолько сложные явления, что без предварительного изучения молекулярных сил на более простых явлениях едва ли можно будет выяснить происходящую при них игру сил.

Лучше обстояло дело с *диффузией газов*, где мало-помалу научились обходиться без молекулярных сил. Согласно новейшей теории газов, которая в это время постепенно развивалась, диффузия двух различных газов, находящихся в соприкосновении, представлялась неизбежным явлением, относительная медленность которого выставилась даже в качестве возражения против новой теории. Однако при *диосмосе* газов (диффузии через пористые стенки) встретились те же трудности, как и в жидкостях. Именно, Грэхем сначала полагал, что его закон свободной диффузии применим и к диосмосу газов, — что последний происходит совершенно так же, как истечение газов через отверстие в тонкой стенке; однако позднее он нашел ¹, что *даже истечение газов через капиллярные трубки не следует закону свободного истечения*; что скорости истечения газов уже не обратно пропорциональны корням квадратным из плотностей, но *зависят также от особой природы газов и изменяются вместе с нею*. Жамен ², который в 1856 г. вновь наблюдал прохождение газов через стенки глиняных сосудов, пришел к заключению, что это явление аналогично осмосу жидкостей и, с одной стороны, зависит от способности просачивания обеих упругих жидкостей, а с другой, — от силы, «*которую может быть либо химическое сродство, либо какое-нибудь электрическое действие, либо, наконец, просто молекулярное притяжение*». Наиболее решительно высказался против применения грэхемовского закона диффузии к диосмосу газов Бунзен в своей известной работе «*Gasometrische Methoden*», Braunschweig 1857 г. («Газометрические методы»). Он, напротив, отстаивал то мнение, что *законы диффузии газов через пористые стенки аналогичны законам прохождения газов через капиллярные трубки и должны зависеть как от природы самих газов, так и от специфических свойств перегородки*. Все эти новые идеи о движении жидкостей привели тогда, с одной стороны, к установлению нового понятия о вну-

¹ „On the motion of gases“, „Phil. Trans.“, стр. 349, 1849.

² „Comptes rendus“, XLIII стр. 234; „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 327.

120 ПРИЛИПАНИЕ ГАЗОВ К ТВЕРДЫМ ТЕЛАМ

трением трении жидкостей и газов, которое в новейшее время подверглось усердному изучению, а с другой стороны, — они побудили к более точному исследованию явления прилипания газов и жидкостей к твердым телам.

К последнего рода исследованиям более интенсивно и с более общей точки зрения приступили только в последующий период; однако уже в рассматриваемый период одно странное явление привело к наблюдению значительной силы и прочности этого слипания твердых тел с газами. В 1842 г. Л. Мозер¹ в статье «Über den Process des Sehens und die Wirkungen des Lichtes auf alle Körper» («О процессе зрения и о действии света на все тела») обратил внимание на «давно уже известный факт, что если с помощью некоторых веществ написать что-либо на хорошо полированной стеклянной доске и затем написанное стереть, то его можно вновь сделать видимым при помощи водяного пара, например, если подышать на пластинку; это же явление имеет место и в том случае, если на стеклянную пластинку положить монету, подышать на нее и затем снять». Так как подобное явление получается и в том случае, когда монету не кладут прямо на пластинку, а держат только на небольшом расстоянии от нее, то Мозер полагал, что такое изменение прилипания водяного пара к пластинке не следует приписывать непосредственному соприкосновению тел. Больше того, он поставил это явление в прямую связь с другим, которое возбудило столь большой интерес в только что открытой *дагерротипии*, а именно, что свет способен на поверхности полированной серебряной пластинки вызывать изменения, которые, оставаясь незаметными непосредственно для глаза, обнаруживаются только по неравномерному осадку на пластинке ртутных паров². Для объяснения обоих этих явлений он допустил, что *свет, подобно теплоте, может находиться в телах в скрытом*³ *состоянии и что этот-то свет и производит изменения в прилипании газов и паров к твердым телам.* Но так как все же невидимый свет тел действует на поставленные на его пути металлические пластинки совершенно иначе, чем прямой солнечный свет, то Мозер счел необходимым прибавить к сказанному довольно невероятное предположение, что *невидимые световые лучи, вызываемые этим скрытым источником света, еще более преломляемы, чем даже*

¹ „Pogg. Ann.“, LVI, стр. 177. Ludwig Ferdinand Moser (1805—1880) — профессор физики в Кенигсберге.

² Мозер, по-видимому, впервые пришел к своим опытам с „потными“ изображениями при попытках объяснить последние явления.

³ „Pogg. Ann.“, LVII, стр. 1: „Über das Latentwerden des Lichtes“. В своей статье в следующем томе „Pogg. Ann.“ (стр. 108) Мозер приводит объяснение странных изображений, которые наблюдались на старых стеклах. Тот факт, — говорит он, — что на стеклах, долгие годы покрывавших медные гравюры, однако без прикосновения к ним, наблюдаются беловатые изображения этих гравюр, является следствием продолжительного действия света. После этого проф. Мейстер сообщил („Pogg. Ann“, LIX, стр. 638), что в Фрейзинге на оконных стеклах, которые стекольщик вставил бедным людям и которые были вырезаны из старых давно купленных стекол, вдруг выступили беловатые изображения святых. *Мейстер полагает, что эта, равно как и другие, принимаемые за чудо изображения на стекле следует объяснить совершенно так же, как мозеровские световые фигуры.*

РАБОТЫ МОЗЕРА И „ПОТНЫЕ" ИЗОБРАЖЕНИЯ 121

*ультрафиолетовые лучи солнечного света и что в последнем подобных лучей совершенно не имеется*¹.

Опыты Мозера вызвали огромный интерес; многие физики полагали, что его выводы *«обещают приобрести столь же большое значение, как некогда открытие Вольтой² электрического столба»*. Однако вскоре против его теории невидимых лучей были высказаны очень сильные и веские возражения. Роберт Гонт приписал «потные» изображения не свету, приходящему в скрытое состояние, а *скрытой теплоте* и даже противопоставил фотографии *термографию*³. Подобным же путем пошел Кнорр, горячо возражавший в ряде статей против мозеровского «скрытого» света⁴. Но Физо еще в 1843 г.⁵ утверждал, что *для получения «потных» изображений не нужно ни световых, ни тепловых лучей* и что они происходят вследствие изменения поверхности пластинок или, точнее, *вследствие изменения всегда прилипающего к ним слоя воздуха*. Эрвин Вейдель путем убедительных опытов добился того, что эта точка зрения стала общепризнанной. Он по желанию то снимал с пластинки слой газа, полируя ее прокаленным древесным углем, то, наоборот, наводил слой газа, натирая ее порошком, который впитывал в себя много газа. Таким образом он показал, что «потные» фигуры не появляются в том случае, когда оба соприкасающихся тела свободны от всяких прилипших слоев газа, а равно и в том случае, когда оба они покрыты совершенно одинаковыми слоями, и что происхождение этих изображений следует объяснить только различием газовых слоев, покрывающих тела, с которых снимается изображение, и тела, которые его воспринимают, а также изменениями, происходящими в этих слоях⁶. Эта теория могла быть затем применена и для объяснения *электрических изображений*, которыми в это время очень много занимался Карстен⁷. Она же, пожалуй, могла дать удовлетворительное объяснение и для некоторых интересных явлений, замеченных Берцелиусом и наблюдаемых Уэллером при многих опытах⁸. А именно, если на стеклянную пластинку налить насыщенный раствор какой-либо соли, например фосфорнокислой аммиак-магнезии, и провести пером несколько линий по пластинке, то при выкристал-

¹ „Pogg. Ann.", LVI, стр. 569: „Über das unsichtbare Licht".

² „Pogg. Ann.", LVIII, стр. 334.

³ „Philosophical Magazine" (3), XXI, стр. 462 и „Pogg. Ann.", LVIII, стр. 326. „Über Thermographie oder die Kunst, Zeichnungen und Druckschrift von Papier auf Metall mittelst Wärme zu übertragen".

⁴ „Pogg. Ann.", LVIII, стр. 320 и 563; LX, стр. 18.

⁵ „Comptes rendus", XV, стр. 896 и XVI, стр. 397; „Pogg. Ann." LVIII, стр. 592 и 594.

⁶ „Pogg. Ann.", LIX, стр. 225. Мозер и после работ Физо с большим мужеством оспаривал это механическое объяснение потных изображений, которое, по-видимому, совершенно обесцвечивало его открытие; однако после появления статьи Веделя он, как видно, прекратил эту борьбу, признав ее бесполезной (см. „Pogg. Ann.", LX, стр. 40 и 48).

⁷ „Pogg. Ann.", LVII, стр. 492; LVIII, стр. 115; LX, стр. 1. Еще в последней своей статье Карстен склоняется к мнению, что все упомянутые выше изображения, включая и мозеровские, следует свести к действию электрических сил. Gust. Karsten (родился в 1820 г.) — профессор физики в Киле.

⁸ „Philosophical Magazine", XXVIII, стр. 94, 1816.

122 ПРИЛИПАНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

лизывании эти линии становятся заметными по накоплению на них маленьких кристаллов. При всем том, однако, *изменение йодированной серебряной пластинки* в камере-обскуре все еще оставалось необъясненным и не было установлено, в какой мере оно зависит от *механических изменений поверхности* и в какой — от химических процессов.

Если твердые тела и жидкости сгущают газы на своей поверхности, то следует допустить, что они их также и поглощают и в зависимости от своей скважности удерживают их более или менее сильно. Фарадей, как уже было указано выше, воспользовался для объяснения каталитического действия свойством губчатой платины поглощать газы. Жамен и Бертран ¹ опубликовали в 1853 г. обширный ряд опытов над *поглощением различных газов* пористыми телами или порошками, как, например, стеклянным порошком, песком, металлическими окисями, металлическими опилками и пр.; из этих опытов как будто вытекало, что в действительности *поглощение происходит только с поверхностей как внешних, так и внутренних*. К подобным же выводам пришел и Магнус ². Но так как величину поверхности в пористых телах определить невозможно, то покуда и здесь также еще не пришли к каким-либо надежным выводам. Еще сложнее оказалось это дело у *жидкостей*. Дальтон высказал мнение, что жидкости поглощают газы совершенно так же, как пористые тела. Но Грэхем ³ уже в 1826 г. указал, что *поглощение газов жидкостями совершенно аналогично растворению солей в воде*. Позднее оказалось, что здесь *имеют место оба рода поглощения* и что действия отдельных причин трудно или почти невозможно отделить друг от друга. Многочисленные и точные опыты, которые Бунзен опубликовал в своем упомянутом выше сочинении «Gasometrische Methoden» ⁴, показали, что газы разделяются на *две*, правда, переходнике друг в друга группы, из которых одна проявляет слабое, другая же гораздо более сильное поглощение, и что вторую группу можно считать обладающей свойством растворяться в воде. Но представляет ли собою это растворение процесс *чисто физический* или *чисто химический*, или, наконец, *смешанный* — это удалось здесь столь же мало выяснить, как и для растворения солей ⁵. Что касается отношения между поглощением газа и давлением, то Бунзен подтвердил закон Дальтона и Генри ⁶, согласно которому количества газа, поглощаемого жидкостями при различных давлениях, но при прочих равных условиях, пропорциональны давлению, если только газы и жидкости друг на друга химически не действуют. Зависимость же поглощения от *температуры* оказалась, напротив, очень сложной и только приблизительно могла быть представлена выражением вида $a - bt + ct^2$. Выде-

¹ „Comptes rendus", XXXVI, стр. 904,

² „Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 604, 1853.

³ „Ann. of Phil. N. S.", XII, 1826.

⁴ Так же в „Liebig's Ann.", XCIII, стр. I, 1855.

⁵ Магнус в упомянутой уже статье („Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 610) говорит: „Отсюда следует, что поглощение, по крайней мере отчасти, происходит вследствие притяжения между частицами твердых тел или жидкостей и частицами газов; оно аналогично химическому притяжению, которое различно для различных веществ".

⁶ „Phil. Trans.". 1803; „Gilbert's Ann.", XX, стр. 147.

ление газа из жидкости может быть вызвано уменьшением давления и введением порошкообразных твердых тел; однако же полный эффект достигается, как и в случае прилипания слоев газа к твердым телам, только путем значительного нагревания или кипения жидкостей.

Разнообразные исследования явлений прилипания между твердыми, жидкими и газообразными телами заставили теперь обратить большее внимание и на явления сцепления между различными жидкостями. Уже много раз, при сообщении об успокаивающем действии масла морские волны, указывали на странное явление растекания масла по поверхности воды; однако этому свойству масла больше удивлялись, чем пытались объяснить¹. Исследования А. Фузиньери², Франкенгейма³ и других показали, что как растекание одной жидкости по другой, так и, наоборот, образование нерастекающихся капель вовсе не составляет какого-нибудь особого свойства, но присуще многим жидкостям и поэтому должно быть отнесено за счет общих свойств, или молекулярных сил жидкостей. Пауль дю-Буа-Реймон⁴ в выдающейся работе 1854 г. исследовал, главным образом, условия, при которых наливание одной жидкости на другую приводит либо к образованию нерастекающихся капель, либо к растеканию второй жидкости по первой, либо, наконец, к полному смешению обеих жидкостей. При растекании жидкости он открыл новые, до тех пор еще не наблюдаемые явления, которые указывали на взаимные движения обеих рассматриваемых жидкостей. Когда в стакан, частично заполненный водою, он наливал слой масла толщиной в 1 мм и на него выливал каплю алкоголя или эфира, то последняя быстро растекалась по масляному слою, образуя тотчас же цвета тонких пластинок; при этом одновременно в масле наверху появлялось углубление, а в воде снизу образовывалось соответствующее возвышение, так что зачастую тонкий слой масла в этом месте совер-

¹ Свидетельством того, что о растекании масла по воде было известно уже очень давно, может послужить одно место в арифметике Баскара Ахария, написанной около 1150 г. н. э. „Искра знания, когда она доходит до понимающего ума, расширяется собственною своею силою. Подобно тому как капля масла распространяется по воде или как тайна, доверенная худому человеку, или как милостыня, поданная достойному, как бы мала она ни была, — так распространяется и знание в развитом уме своею собственною внутреннею силой" (по *Arneth, Geschichte der reinen Mathematik*, Stuttgart, стр. 150. 1852). Бенджамин Франклин, который впервые вновь возбудил интерес к наблюдению этого явления, пишет в письме к доктору Броунрингу от 7 ноября 1773 г.: „При этих опытах меня особенно удивило одно обстоятельство. Это было внезапное, широкое и сильное растекание капли масла по поверхности воды, которое, насколько я знаю, до сих пор еще никем не наблюдалось... Между частицами масла как бы появляется отталкивание и настолько сильное, что оно действует так же и на другие тела, плавающие на поверхности воды, как соломинки, листочки, щенки и т. п.".

² „Ann. delle scienze del Regno Lomb.-Ven", III, 1833.

³ „Die Lehre von der Cohäsion", Breslau, 1835.

⁴ „Untersuchungen über die Flüssigkeiten, über deren innere Strömungserscheinungen, über die Erscheinungen der stillstehenden Tropfens, deren Ausbreitung und Vertreibung", Berlin 1854. „Über die Erscheinungen, welche die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf Flüssigkeiten hervorrufen", „Pogg. Ann.", CIV, стр. 193. 1858.

Paul du Bois-Reymond (1831—1889)—профессор Высшей технической школы в Шарлоттенбурге.

124 РАСТЕКАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ОБРАЗОВАНИЕ КАПЕЛЬ

шенно разрывался. Дю-Буа-Реймон склонялся к мысли, что масло увлекается растекающимся спиртом и, образуя на краю водоворот, возвращается отсюда к середине, но так как эти обратные токи слабее первичных, то посередине должно происходить уменьшение количества масла; а так как струя масла вследствие трения приносит с собою обратно и некоторую часть воды, то должны образоваться скопление и поднятие воды, что в действительности и наблюдается. Относительно причины растекания самого алкоголя он не мог дать никаких надежных объяснений; он даже оставил невыясненным, происходит ли оно вследствие очень сильного отталкивания частиц жидкости, проявляющегося в тонких слоях, или только вследствие *прилипания* между алкоголем и маслом. Позднее, в 1870 г.¹, он высказался в пользу *допущения отталкивательной силы, действующей между частицами жидкостей*. Большинство физиков, однако, не согласилось признать эту силу отталкивания элементарной и настаивало на объяснении кажущегося отталкивания действием прилипания и сцепления жидкостей. Как раз перед последней работой дю-Буа-Реймона Р. Лютдге² установил, что между жидкостями, которые должны растекаться одна по другой, *прилипание должно быть, во всяком случае, сильнее сцепления в той из них, которая обладает меньшим сцеплением*. Так, если наблюдение показывает, что какая-нибудь жидкость *A* растекается тонким слоем по поверхности другой жидкости *B*, то из этого можно наверняка заключить, что, наоборот, жидкость *B* не может растекаться по *A*, а должна оставаться на ней в форме капли, как это в действительности и имеет место с каплей воды на масле и обратно с масляной каплей на воде. Но такая покоящаяся на другой жидкости капля покрывается тонким слоем последней. Жидкости, у которых наблюдается явление растекания, можно расположить в ряд, в котором каждая предшествующая растекается по следующей; скорость растекания находится, по-видимому, в простом отношении к расстоянию между жидкостями в этом ряду. Условие, что прилипание жидкостей должно быть больше, чем меньшее из их сцеплений, по-видимому, удовлетворяется у большинства жидкостей и явление растекания встречается чаще, чем это вообще предполагали. Одна только *ртуть* представляет в этом отношении исключение. Ввиду значительного ее сцепления следовало бы ожидать, что все другие жидкости растекаются по ее поверхности, как это и имеет место для масла, бензина и алкоголя; однако некоторые другие жидкости, как, например, вода или мыльный раствор Плато, остаются и на поверхности ртути в виде капель. По-видимому, причиной этого является незначительное прилипание этих жидкостей к ртути. Аналогично Лютдге объяснили явления образования капель и растекания жидкостей ван-дер-Менсбругге³ и Марангони⁴; при этом оба они ввели в рассмотрение понятие поверхностного натяжения. Последний указал на то, что поверхностное натяжение жидкости как при сопри-

¹ „Pogg. Ann.", CXXXIX, стр. 262.

² „Pogg. Ann.", CXXXVII, стр. 362, 1869.

³ „Mém. cour. et Mém. des sav. etc. de Brux." XXXIV, стр. 1; „Pogg. Ann.", CXXXVIII, стр. 323. 1869.

⁴ „Pogg. Ann.", CXLIII, стр. 337, 1871.

косновении с твердым телом, так и при соприкосновении с другою какою-либо жидкостью должно (вследствие прилипания) уменьшаться и что поэтому явления растекания жидкостей должны быть поставлены в один ряд с капиллярными явлениями. Упомянутые до сих пор действия молекулярных сил обнаружили так много различий в зависимости от агрегатного состояния рассматриваемых веществ, что их еще можно было совмещать со старыми воззрениями на *агрегатные состояния вещества как на более или менее независимые, первичные формы материи*. Однако уже и в этот период были обнаружены такие явления, которые в противоположность этому воззрению заставляли смотреть на *агрегатные состояния скорее как на случайные формы материи, зависящие от внешних обстоятельств и переходящие друг в друга*; последнее воззрение, правда, лишь в последнее время достигло большей ясности. Фарадей ¹ был, по-видимому, первым, положившим прочную основу для такого воззрения. В начале двадцатых годов нашего столетия он, по совету Дэви, нагрел в запаянной стеклянной трубке так называемый гидрат хлора, разложившийся при этом на хлор и воду. После того как разложение продолжалось некоторое время, Фарадей заметил на стенках трубки маслянистые капли ², которые при открытии трубки со взрывом исчезли. Капли эти оказались жидким хлором. Непосредственно вслед за тем подобным же образом сам Дэви ³ превратил в жидкость газообразную соляную кислоту, а Фарадею ⁴ потом удалось с помощью давления сгустить еще некоторое количество газов. Тилорье впервые в 1835

г. ⁵ приготовил в изогнутой в такой форме  и запаянной с обоих концов трубке, в одном колене которой находился углекислый кальций, а в другом — соляная кислота, большое количество *жидкой углекислоты*. Он же получил ее и в твердом состоянии и, смешав с эфиром, достиг такой степени холода, о какой раньше никогда не имели представления. Наконец, Наттерер ⁶ стал сгущать газы с помощью нагнетательного насоса в кованой железной бутылке (сделанной, по его словам, наподобие камеры духового ружья) и получил, таким образом, *закись азота*, как в жидком, так и в твердом состоянии. После того было сгущено еще большое количество газов, до тех пор считавшихся постоянными, однако отдельные газы, как воздух, азот, кислород и водород, никоим образом не поддавались сжижению. Когда Тилорье, обратясь к методу Дэви, соединил наполненную жидкою углекислотою кованую железную бутылку со стеклянной, запаянной с одного конца трубкой, наполненной

¹ „On fluid chlorine“, „Phil. Trans.“, стр. 160, 1823.

² Д-р Парис случайно зашел в лабораторию в то время, когда Фарадей был занят этой работой, и посмеялся над молодым химиком по поводу неосторожного применения нечистой посуды. На следующее утро Парис получил следующие строки: „Милостивый государь, масло, которое вы вчера заметили, было не что иное, как жидкий хлор. Преданный вам М. Фарадей“.

³ „Phil. Trans.“, стр. 164, 1823.

⁴ Там же, стр. 189.

⁵ „Ann. de chim. et de phys.“ (2), LX, стр. 427 и 432; „Pogg. Ann.“, XXXVI стр. 141.

⁶ „Pogg. Ann.“, LXII, стр. 132, 1844. Joh. Aug. Natterer (родился в 1813 г.) — практикующий врач в Вене.

126 СЖИЖЕНИЕ ГАЗОВ

водородом, и погрузил потом бутылку в кипящую воду, то водород оказался сжатым до $\frac{1}{480}$ своего первоначального объема, как это видно было по ртутному указателю, находившемуся между водородом и углекислотой, однако и при этом не было еще заметно никаких признаков его сжижения¹. Поэтому снова пришлось отказаться от мысли рассматривать газы только как пары жидкостей с весьма низкими температурами кипения и продолжать еще считать некоторые газы постоянными², по крайней мере, временно, так как опыты со сжатием все же показали, что *даже и эти постоянные газы при более высоких давлениях перестают следовать закону Мариотта и таким образом теряют характер идеальных газов*. Впрочем, уже и раньше неоднократно высказывались сомнения в полной применимости закона Мариотта. В 1827 г. Дебре³ показал, что различные газы при одном и том же давлении сжимаются неодинаково. С другой стороны, Дюлонг и Араго нашли, что, по крайней мере, для воздуха (на другие газы они не могли распространить своих опытов) этот закон вполне точен в пределах ошибок наблюдения. Реньо же⁴ затем определенно доказал, что и у так называемых постоянных газов объем не точно обратно пропорционален давлению и, как уже было указано ранее, утверждал, что воздух, азот и т. д. с возрастанием давления сжимаются сильнее, а водород меньше, чем этого требует закон Мариотта. Наттерер⁵ с помощью устроенного им для сгущения газов прибора нашел, что закон Мариотта достаточно точен для водорода до 78 ат давления, для кислорода до 77, для азота до 85, для воздуха до 96, для углекислоты до 12 ат; однако, в противоположность выводам Реньо, он утверждал, что все газы с возрастанием давления сжимаются меньше, чем следовало бы согласно закону Мариотта.

Такие же трудности, какие встретились при исследовании капиллярности, диффузии и т. д., представило также исследование *упругости твердых тел*, впервые в этот период более широко поставленное на экспериментальную почву. Прежние работы Гука, равно как и довольно обстоятельные исследования с Гравезанда⁶, имели своей целью больше изучение *относительных законов* упругих действий, чем измерение *абсолютных величин* последних. Действительную основу для таких измерений создал Т. Юнг, определивший в 13-й лекции своих «Lectures

¹ По Бертело, „Ann. de chim. et. de phys." (2), XXX, стр. 237.

² Наттерер говорит („Pogg. Ann.", XCIV, стр. 436): „Прежние опыты сделали почти достоверным, что одним механическим давлением нельзя достигнуть желаемой цели, т. е. обратить постоянные газы в жидкое и твердое состояние". Но Фарадей, который в 1845 г. снова путем сжатия перевел в жидкое состояние различные газы при весьма низких температурах (до -110°C), более определенно ищет причину неудачи в том, что *для сжижения постоянных газов температура все еще была слишком высока* („Phil. Trans.", стр. 155, 1845). Он говорит буквально: „*There are, in fact, some results producible by cold which no pressure may be able to effect*" („в действительности существуют некоторые результаты, полученные с помощью холода, которых нельзя достичь никаким давлением").

³ „Ann. de chim. et de phys." (2), XXXIV, 1827

⁴ „Mém. de l'Acad.", XXI; „Pogg. Ann.", LXVII, стр. 534.

⁵ „Pogg. Ann.", XCIV, стр. 436, 1855.

⁶ „Elements de physique", I, стр. 346—376, Leyden 1746.

on natural philosophy» (London 1807) *коэффициент упругости* как вес, который в состоянии удлинить стержень с поперечным сечением, равным единице, на его собственную длину. Новые экспериментальные исследования были вызваны к жизни все более настоятельными требованиями техники, затем упомянутыми уже ранее теоретическими исследованиями знаменитых математиков Пуассона и Коши, а также все возрастающим интересом физиков к действию молекулярных сил. Тщательные, точные измерения упругости железа были опубликованы Лагергьельмом еще в 1827 г.¹ Он определял коэффициент упругости сначала непосредственно, а затем вычислил его на основании тонов продольных колебаний рассматриваемых железных стержней. Полученные им результаты оказались согласными с теоретическими выводами Пуассона в том отношении, что поперечное сжатие при растяжении проволок и стержней не вполне компенсирует их удлинения и что железо при растяжении испытывает *увеличение объема*, вследствие чего удельный вес его с 7,821 снижается до 7,777. Но относительно наиболее полные измерения упругости предпринял Вертгейм² в промежуток времени от 1844 до 1860 г. В 1844 г.³ он дал в трех статьях для различных металлов и металлических сплавов следующие таблицы: а) *коэффициентов упругости*, полученных как путем прямой нагрузки, так и из наблюдения продольных и поперечных колебаний; б) *пределов упругости*, т. е. весов, которые в стержне 1 мм² поперечного сечения вызывают стойкое не исчезающее уже удлинение на 0,00005 его длины; в) *максимальных стойких удлинений* перед разрывом; г) *весов*, которые вызывают *разрыв* при медленной или быстрой нагрузке, и, наконец, д) *скоростей звука*, вычисленных из тонов продольных колебаний. В качестве общих выводов из своих исследований он, между прочим, нашел, что *коэффициенты упругости изменяются под влиянием тех же обстоятельств, что и плотности; что из наблюдений тонов продольных и поперечных колебаний для этих коэффициентов получаются одни и те же величины, однако несколько большие, чем из наблюдения непосредственных удлинений; что даже самая ничтожная нагрузка вызывает стойкое, не исчезающее удлинение и что максимальное удлинение, равно как и крепости тела, бывают больше при медленной нагрузке, чем при быстрой*. За этими исследованиями в 1846 г.⁴ последовали измерения *упругости и крепости различных видов дерева*, а в 1847 г.⁵ *различных сортов стекла*, которые Вертгейм произвел совместно с Шевандье. Согласно последней работе плотность одних и тех же сортов бывает одинакова, вылитое ли стекло или выдутье, но в медленно охлажденном стекле она на 0,0045 больше, чем в быстро охлажденном, откуда следует, что в *быстро охлажденных стеклах*

¹ „Försök att bestämma valsadt och smidt jerns täthet, jemnhet, smidbarhet och styrka", Stockholm 1827. Pehr Lagerhjelm (1787—1856) — чиновник горного ведомства в Стокгольме.

² Wilhelm Wertheim (1815—1861) — с 1855 г. экзаменатор в Политехнической школе в Париже.

³ „Pogg. Ann.", LVII, стр. 382; дополнительный том II, стр. 1 и 73.

⁴ „Pogg. Ann.", дополнительный том II, стр. 481.

⁵ Там же, стр. 115.

внутренние слои должны находиться в состоянии очень сильного растяжения. Коэффициент упругости стекла растет с его плотностью, причем коэффициент, вычисленный с помощью звуковых тонов, больше, чем полученный путем непосредственного наблюдения. В том же году Вертгейм ¹ опубликовал свои исследования над упругостью главнейших тканей человеческого тела, а в следующем ² — упомянутые уже ранее опыты над отношением продольного удлинения к поперечному сжатию. Непостоянство этого отношения было позднее установлено Кирхгофом ³, Коозеном ⁴, Окатовым ⁵ и др. В 1854 г. ⁶ Вертгейм представил различные положения о соотношении между упругостью минералов и их химическим составом, приведшие, однако, к малонадежным результатам. В 1857 г. он вновь очень обстоятельно исследовал упругость при кручении ⁷, определяя зависимость угла кручения непосредственно, а не косвенно, путем наблюдения скорости колебаний, вызываемых кручением, как это раньше сделал Кулон. Последние работы Вертгейма касаются объемной сжимаемости твердых тел и упругости при сгибании. Но особенно обстоятельно исследовал последнюю в ряде работ Сен-Венан ⁸, опубликовавший также солидные работы по упругости кручения.

Теоретически и систематически, а также настолько полно, насколько это было возможно в то время, проблемы упругости были разработаны Ламе в его «Lecons sur la théorie de l'élasticité, Paris 1852 г. («Лекции по теории упругости»)), Клебшем в «Theorie der Elasticität fester Körper», Leipzig 1862 г. («Теория упругости твердых тел») и Беером в «Einleitung in die mathematische Theorie der Elasticität», Leipzig 1869 г. («Введение в математическую теорию упругости»).

ОПТИКА (приблизительно от 1840 до 1860 г.). Волновая теория света уже в предыдущем периоде достигла всеобщего признания. Формулы, выведенные Френелем, Швердом и Коши, давали в столь многих случаях столь точное совпадение с наблюдениями, что сомнения в правильности этой теории были уже невозможны. Однако от проницательных умов не могло ускользнуть то обстоятельство, что и, опираясь на волнообразную теорию, математическая разработка явлений во многих случаях наталкивается на затруднения, причем это бывает как раз в случаях обыкновенных, повседневных явлений. Мы уже упомянули о том, сколько было затрачено труда на доказательство одной только возможности разложения света на цвета при его преломлении. Равным образом мы отметили, каким образом Коши доказал эту возможность, как он постоянно стремился привести свои формулы в возможно лучшее согласие с результатами наблюдений и как другие

¹ „Ann. de chim. et de phys." (3), XXI, стр. 385, 1847; а также в „Comptes rendus", XXII, стр. 1151, 1846.

² „Ann. de chim. et de phys." (3), XXIII, стр. 52, 1848.

³ „Pogg. Ann.", CVIII, стр. 369.

⁴ Там же, CI, стр. 401.

⁵ Там же, CXIX, стр. 11.

⁶ „Cosmos" (par Moigno), IV, стр. 518.

⁷ „Ann. de chim. et de phys." (3) L, стр. 202.

⁸ Подробно в „Journal de Liouville". (2), I, стр. 89, 1856. А. J. Cl. Barré de Saint-Venant (1797—1886) — профессор École des ponts et chaussées в Париже.

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА ОТ ПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛ 129

выдающиеся физико-математики вплоть до новейшего времени старались дальше развить его идеи или же их исправить. Однако кроме вопроса о разложении света на цвета для волновой теории оставались неразрешенными в оптике еще некоторые другие проблемы, которые задали много работы математикам.

Уже для теории истечения осталась неразрешенной задача объяснить, почему при *отражении* света всегда *отражается* только *часть* его, *другая же часть поглощается* отражающим телом. Юнг указывал на эту неудачу как на главный довод против теории истечения и отрицал возможность разрешения как раз этой проблемы с точки зрения последней. Однако скоро выяснилось, что и волновая теория здесь встречается с совершенно такими же трудностями.

Для объяснения отражения света от *прозрачных* тел Френель прибегнул к отнюдь не очевидному допущению, что в *телах эфир имеет бо'льшую плотность, чем вне их, сохраняя при этом одинаковую упругость, и что изменение плотности происходит скачком на некоторой определенной поверхности, на которой происходят как отражение, так и преломление*¹. Сделав, далее, предположение (что было естественно, если пренебречь поглощением света в телах), что *сумма живых сил преломленного и отраженного лучей света должна быть равна живой силе падающего луча*, он мог показать, что для известного угла отражения (*угла поляризации*) весь свет, поляризованный в плоскости падения, должен полностью отразиться, а поляризованный в перпендикулярной плоскости должен весь проходить, и смог, таким образом, определить интенсивность этих лучей света. Точно так же он смог тогда определить для любого угла падения интенсивность обоих перпендикулярно друг другу поляризованных отраженных лучей, а также обоих перпендикулярно друг другу поляризованных преломленных лучей². Соответствующие формулы Френеля вообще достаточно хорошо согласовались с имевшимися наблюдениями Малюса, Брюстера и др. Однако уже и тогда в отдельных случаях выявились некоторые расхождения. Брюстер³ в 1815 г. и Зеебек⁴ в 1830 г. нашли, что *не у всех веществ свет, поляризованный под углом поляризации, бывает вполне поляризован в одной и той же плоскости*. Отсюда Эри в 1833 г.⁵ сделал вывод, что *у многих веществ отраженный свет поляризуется не прямолинейно, а эллиптически*, или же, что между двумя лучами, поляризованными

¹ Если мы допустим, как это обычно делается, что весомые молекулы притягивают молекулы эфира, то большая плотность последнего в телах представляется логически обоснованной; можно было бы, далее, допустить, что вероятное при этом увеличение упругости эфира в телах нейтрализуется меньшей подвижностью эфирных молекул, проистекающей от действия сил притяжения. Для противоположного допущения *большей упругости эфира в телах при одинаковой его плотности*, на основе которого Франц Нейман („Abh. der Berliner Akad.", 1835) тоже вывел формулы Френеля, как будто труднее подыскать правдоподобное обоснование.

² „Ann. de chim. et de phys." (2), XVII, стр. 190 и 312, 1821 и XLVI, стр. 225, 1831; „Pogg. Ann.", XXX, стр. 255 и дополнительный том II, стр. 332.

³ „Phil. Trans.", стр. 125, 1815.

⁴ „Pogg. Ann.", XX, стр. 27.

⁵ „Philosophical Magazine" (3), I, стр. 25, 1833; „Pogg. Ann.", XXVIII, стр. 83.

130 ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА ОТ ПРОЗРАЧНЫХ ТЕЛ

перпендикулярно друг к другу, существует *разность фаз*; однако это предположение представлялось неприемлемым с точки зрения френелевского допущения об отражении света от поверхности и было несовместимо с его формулами. В то время подобные явления считались еще исключениями; однако в конце сороковых годов Жамен¹ показал, что они составляют правило. Он доказал точными опытами, что *при отражении света от прозрачных тел происходит вообще* (как это было уже давно установлено при металлическом отражении) *замедление одного из отраженных лучей по сравнению с другим лучом, поляризованным перпендикулярно к первому, вследствие чего между ними образуется разность фаз* и весь отраженный свет оказывается поляризованным *не прямолинейно, а эллиптически*. Жамен определил также величину вызванной отражением разности фаз для многих веществ и при этом заметил, что не всегда поляризованный в одном и том же направлении луч отстает по фазе от другого луча, но что это замедление зависит от природы отражающего вещества: в веществах с более сильным преломлением обыкновенно запаздывает луч, поляризованный перпендикулярно к плоскости падения, а в других случаях — второй луч. Но есть и такие тела, у которых замедления, а, следовательно, и эллиптической поляризации, вовсе не бывает². Коши³ попытался учесть и эти явления в своей теории отражения, и Жамен определенно признал, что *формулы Коши достаточно хорошо согласуются с наблюдением* и являются, во всяком случае, единственными, дающими удовлетворительное разрешение вопросов, касающихся отражения света⁴ — в противоположность формулам Френеля, которые можно признать только приблизительно верными, поскольку эллиптичность отраженного света незначительна. В основе теории отражения Коши лежала мысль, что *на пограничной поверхности обеих сред образуются также и продольные волны*, интенсивность которых с удалением от этой поверхности убывает, правда, так быстро, что на неизмеримо малом расстоянии они уже исчезают. Однако эта мысль была большинством физиков оставлена и заменена более естественным предположением, что *на границе сред плотность эфира изменяется не скачками, а постепенно, вследствие чего как отражение, так и преломление света происходят не сразу на одной поверхности, а постепенно*. Следует, однако, заметить, что и это построение в том виде,

¹ Jules Célestin Jamin (1818—1886) — профессор физики в Политехнической школе и Сорбонне в Париже.

² „Comptes rendus“, XXII, стр. 477; XXVI, стр. 383; XXVII, стр. 147; „Ann. de chim. et de phys.“ (3), XXIX, стр. 263, 1850; „Mém. sur la réflexion a la surface des corps transparents“.

³ „Comptes rendus“, VIII, стр. 560; IX, стр. 729, 1839; XXVIII, стр. 124, 1846; XXXI, стр. 160. Более простое и удобопонятное, чем у автора, изложение теории отражения Коши дали А. Беер („Pogg. Ann.“, XCI и XCII), также Эйзенлор („Pogg. Ann.“, CV, стр. 346), Лундквист („Pogg. Ann.“, CLII, стр. 177, 398 и 565) и др. Джемс Уокер („An acc. of Cauchy's Theory of Reflection a. Refraction of Light“, „Philosophical Magazine“ (5), XXIII, стр. 151) различает *три* различные ступени в развитии теории света Коши (1830, 1836 и 1839 гг.), из которых каждая последующая всегда сводит на нет предыдущую.

⁴ „Ann. de chim. et de phys.“ (3), XXX, стр. 264.

ПОЛНОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА. АБЕРРАЦИЯ 131

как его пытались осуществить Лоренц¹ и другие, нельзя еще считать вполне удавшимся. С допущением *постепенного хода преломления* легче увязывались теперь и явления *полного отражения света*. Уже Ньютон, допускавший вообще существование тонкого промежуточного слоя на границе между двумя оптически различными средами, принимал, что при полном отражении свет *вступает из более плотной среды в менее плотную* и затем отсюда возвращается назад вследствие более сильного притяжения света более плотную средою. Он даже определил, что путь, описываемый светом в менее плотной среде, представляет собою ветвь *параболы*². К его мнению, конечно, безоговорочно присоединились все приверженцы теории истечения; Гюйгенс³ и его сторонники тоже допускали вступление света в менее плотную среду, хотя объяснить возвращение волнообразного движения в более плотную среду им было гораздо труднее, чем сторонникам теории истечения. Юнг⁴ прибегнул к предположению, что частицам менее плотной среды движение передается лишь в некоторой части, но притом таким образом, что эта передача имеет своим последствием сопротивление дальнейшему проникновению колебания со стороны этих частиц. Френель⁵ нашел, что при полном отражении один из поляризованных лучей замедляется по сравнению с другим перпендикулярным к нему поляризованным лучом на $\frac{1}{8}$ длины волны, и затем пытался из своих формул вывести более глубокое проникновение одного из лучей в менее плотную среду. Эти формулы дали для *амплитуд отраженного света*, при переходе его в менее плотную среду, для определенных углов падения, *комплексные величины*. Появление *мнимости* Френель объяснил тем, что *соответствующая часть света отражается не на поверхности раздела обеих сред, как это было принято для расчета, а дальше, позади нее*. Однако впоследствии Квинке⁶ точными измерениями доказал, что при полном отражении свет может проникнуть в менее плотную среду на глубину *нескольких длин волн* и что глубина эта для лучей, поляризованных перпендикулярно к плоскости падения, вообще *больше*, чем для лучей, поляризованных в самой плоскости. Как в теории отражения, так и в *абerrации* света трудности возникли как раз там, где до сих пор все считалось удовлетворительно объясненным. Как и в первое время после открытия этого явления, так и теперь абerrацию продолжали пояснять ссылкой на пример камня, движущегося прямолинейно и равномерно по трубке, имеющей в свою очередь самостоятельное движение под некоторым углом к траектории камня. Для того чтобы применить подобное объяснение к абerrации, *необходимо было предположить, что свет, исходящий от звезд, не отклоняется от прямолинейного направления своего движения и в сфере движущейся земли*. Но такое предположение, будучи достаточно

¹ „Pogg. Ann.", CXI, стр. 460, 1860.

² „Principia mathematica", 2 изд., стр. 206, 1713.

³ „Traité de la lumière", стр. 38, 1690.

⁴ „Lectures on nat. phil.", II, стр. 623, London 1807.

⁵ „Ann. de chim. et de phys." (2), XXIX, стр. 175, 1825; XLVI, стр. 241, 1831.

⁶ „Pogg. Ann", CXXVII, стр. 1 и 199, 1866.

132 УЧАСТИЕ ЭФИРА В ДВИЖЕНИИ ВЕСОМЫХ ТЕЛ

вероятным для теории истечения, ни в коем случае не могло быть таковым для волновой теории: в самом деле, легко было предположить, что поток световых частиц беспрепятственно пронизывает атмосферу движущейся земли; *но чтобы исходящее от звезд волнообразное движение эфира продолжалось без изменения своего направления в эфире, находящемся на движущейся земле, этого, во всяком случае, нельзя было принять безоговорочно.* Стокс уже в 1846 г. утверждал, что распространение света, приходящего из небесных пространств, не может оставаться прямолинейным в движущемся эфире земли и что поэтому обычное объяснение аберрации несостоятельно. Челлис ² возразил на это, что, наоборот, из полного соответствия старой теории аберрации данным наблюдения следует заключить, что предпосылка этой теории верна и что, следовательно, распространение света в теле не зависит от его движения. Физо указал, что по поводу отношения содержащегося в теле эфира к его движению возможны три гипотезы: 1) эфир связан неразрывно с частицами тел и движется вместе с ними; 2) эфир совершенно свободен и движение тел на него нисколько не влияет; 3) эфир только в одной части связан с движениями весомих частиц, а в другой части совершенно свободен. Для выбора между этими тремя гипотезами Физо поставил новые, чрезвычайно остроумные опыты ³. Каждый из двух пучков света, исходивших из одного и того же источника и, в конце концов, приводившихся к интерференции, проходил на своем пути через трубу, наполненную водою. Обе трубы были равной длины, но в одной из них вода двигалась с довольно значительною равномерною скоростью в направлении распространения световых лучей, а в другой — с такой же скоростью в противоположном направлении. За исключением этого последнего обстоятельства оба пучка до интерференции проходили совершенно одинаковые пути и были поставлены в совершенно равные условия. При этом наблюдении Физо установил, что при движении воды в трубах интерференционные полосы оказывались смещенными по отношению к тем полосам, которые возникали, когда вода в трубках оставалась в покое, причем смещение всегда происходило в сторону тех лучей, которые двигались навстречу воде. *На этом основании он счел наиболее вероятной третью из вышеприведенных гипотез, т. е. что эфир, заключенный в движущемся теле, частично участвует в этом движении, а частично остается в покое.* В дальнейших своих опытах при замене движущейся воды движущимся воздухом он не заметил никакого смещения интерференционных полос и отсюда заключил, *что в газах влияние их движения на содержащийся в них эфир неизмеримо мало;* поэтому и прежняя теория аберрации, поскольку последняя касается, главным образом, прохождения света

¹ „Philosophical Magazine" (3), XXVII, стр. 9, 1846.

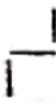
² „Philosophical Magazine" (3), XXVII, стр. 321. Стокс, который вообще имел ряд научных дискуссий с Челлисом, вел с ним длинную переписку и по вопросу об аберрации света. James Challis (1803—1882) — духовное лицо, профессор физики и астрономии.

³ „Comptes rendus", XXXIII, стр. 343, 1851. „Pogg. Ann.", дополнительный том III, стр. 437. Hippolyte Fizeau (1819 — 1896) — с 1863 г. профессор физики в Парижской политехнической школе.

УЧАСТИЕ ЭФИРА В ДВИЖЕНИИ ВЕСОМЫХ ТЕЛ 133

через воздух, остается в силе ¹. К точке зрения Физо полностью присоединился Беер ², но только он полагал, (что, впрочем, не изменяет сути дела), *что не часть эфира участвует в движении весомых молекул, а весь эфир, но только он движется со скоростью, которая составляет лишь часть скорости движения тела*. Если скорость движущегося тела v , то скорость заключенного в нем эфира Беер положил равной uv ; u он назвал коэффициентом замедления соответствующего вещества. Затем он нашел $u=1-1/n^2$, где n — абсолютный показатель преломления; для воды он вычислил $u=7/16$, а для воздуха u равно только 0,000589 ³.

Упомянутые выше опыты Физо были произведены под влиянием других опытов, проведенных в это же время им самим, а также другими исследователями, и имевших своей целью определение *скорости распространения света на земле*. Уже в 1838 г., вскоре после измерения Уитстоном скорости распространения электричества, Араго высказал мысль, что при помощи вращающегося зеркала можно было бы определить если не абсолютную скорость света, то, во всяком случае, относительную скорость распространения его в различных средах. Если, — сказал он ⁴, — взять в качестве источника света электрическую искру, направленную параллельно оси вращения зеркала, и установить наполненную водою трубку длиною в 28 м таким образом, чтобы от одной половины светящейся линии свет проходил до зеркала через воду, а от другой проходил параллельно трубке через воздух, то при вертикальной оси вращения и при прохождении через воду света от верхней половины светлая линия в зеркале по теории истечения

должна иметь форму , а по волновой теории форму , Таким

¹Позднее Физо исследовал также влияние движения твердых тел на заключающийся в них эфир. По Малюсу, Био и Ерюстеру плоскость поляризации светового луча, при прохождении через наклонную пластинку стекла, испытывает вращение, зависящее, между прочим, от показателя преломления, а, следовательно, и от скорости света. Соответственно этому Физо пропускал световые лучи через стеклянную пластинку с параллельными стенками один раз таким образом, что движение света совпадало по своему направлению с тем движением пластинки, которое она имела вследствие вращения земли, а другой раз в противоположном ему направлении. При этом наблюдаемые вращения плоскости поляризации действительно обнаружили ясно заметную зависимость от движения земли, хотя численные результаты довольно сильно между собою расходились („Comptes rendus", XLIX, стр. 717, 1859 г., „Pogg. Ann.", CIX, стр. 160 и „Ann. de chim. et de phys." (3), LVIII, стр. 129, 1860; „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 554). Фай („Comptes rendus", XLIX, стр. 870; „Pogg. Ann.", CIX, стр. 170) отметил, что Физо при этих исследованиях не принял во внимание влияния собственного движения всей солнечной системы, а Тессан против этого возразил („Comptes rendus", XLIX, стр. 980), что это движение не может иметь влияния, так как оно присуще и солнечному свету.

² „Pogg. Ann.", XCIII, стр. 213. Aug. Beer (1825—1863) — профессор математики и физики в Бонне.

³ „Pogg. Ann.", стр. 217.

⁴ „Comptes rendus", VII стр. 954, 1838; „Pogg. Ann.", XLVI; стр. 28.

134 СКОРОСТЬ СВЕТА

образом можно было бы надежно разрешить вопрос о правильности той или иной из этих двух теорий. Сам Араго не осуществил этого своего предложения вследствие слабости зрения, и лишь в 1850 г. он мог сообщить Парижской академии наук, что его план будет приведен в исполнение Фуко¹. Вскоре затем Фуко² действительно сообщил, что опыты его вполне удались и что он, следуя методу Араго, *определенно установил замедление света в воде по сравнению с воздухом, и, таким образом, прямо подтвердил волновую теорию света*. Вслед за этим Физо и Брегэ³ со своей стороны сообщили, что и они аналогичным путем пришли к принципиально схожим результатам.

Уже за год до того Физо устроил прибор, в котором вращающееся зеркало было заменено вращающимся зубчатым колесом, с тем, чтобы иметь возможность определить не только относительную, но и *абсолютную скорость света*⁴. Зрительные трубы общеизвестного прибора были поставлены на расстоянии 8633 м друг от друга, а колесо имело 720 зубцов. Свет исчез, когда скорость вращения колеса была доведена до 12,6 оборотов в секунду; при двойной скорости он вновь появился, а при тройной снова исчез, что придавало особенную достоверность выводам из этих наблюдений. Из 28 таких измерений он вывел, в качестве наиболее вероятной величины для скорости света, *70 948 лье, или 42 569 географических миль*, что, во всяком случае, несколько превышает действительную скорость. 13 лет спустя Фуко⁵ при помощи прибора, который опять-таки был снабжен вращающимся зеркалом Араго, удалось измерить скорость света в пределах комнаты, для чего путь света был удлинён до 20 м посредством отражения его от 5 вогнутых зеркал. При этом он с точностью до 0,002 нашел скорость света равной *298 000 км или 39 136 географических миль* (в безвоздушном пространстве). С этими результатами хорошо согласовались и многочисленные более поздние измерения. А. Корню⁶ в 1873 г. получил с усовершенствованным прибором Физо *298 500 км*, а в следующем году *300 330 км*. Альберт Майкельсон⁷, при помощи усовершенствованного метода Фуко, получил число *299 954±50 км*, а Юнг и Форбс⁸ по способу Физо — *301 382 км*. Указанное расхождение результатов дало повод заподозрить, не зависит ли скорость света от природы излучаемого света и не изменяется ли она вместе с нею. Мюллер⁹ в 1872 г. высказал предположение, что скорость света, может быть, зависит от интенсивности последнего, а Форбс и Юнг сообщили, что они заметили различие скорости при различных цветах.

¹ „Comptes rendus“, XXX, стр. 489, 1850.

² Там же, XXX, стр. 551; „Pogg. Ann.“, LXXXI, стр. 434.

³ „Comptes rendus“, XXX, стр. 562 и 771; „Pogg. Ann.“, LXXXI, стр. 442 и LXXXII, стр. 124.

⁴ „Comptes rendus“, XXIX, стр. 90, 1849; „Pogg. Ann“, LXXIX, стр. 167.

⁵ „Comptes rendus“, LV, стр. 501 и 792, 1862; „Pogg. Ann.“, CXVIII, стр. 485 и 588.

⁶ „Comptes rendus“, LXXVI, стр. 338, 1873 и LXXX, стр. 1361.

⁷ „Nature“, XVIII, стр. 195.

⁸ Там же, XXIV, стр. 303, 1881.

⁹ „Pogg. Ann.“, CXLV, стр. 86, 1872. J. J. Müller (1846—1875) — профессор Цюрихской политехнической школы.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА 135

Однако эти предположения большинством физиков не были поддержаны. Что касается более значительных расхождений этих результатов с полученными раньше на основании астрономических данных, то их объяснили тем, что для расстояния от солнца до земли было принято несколько преувеличенное число.

Около этого же времени Физо и Фуко ¹ воспроизвели еще одно явление, очень интересное для волновой теории света. Два световых луча могут лишь тогда интерферировать, когда они находятся в противоположных фазах, в остальном же находятся в совершенно одинаковых состояниях колебания; поэтому части светового луча, происходящие от единого источника, могут интерферировать лишь в том случае, если между ними каким-либо образом создается разность фаз. Возникает вопрос, должна ли эта разность фаз интерферирующих лучей составлять лишь одну полуволну или же она может равняться некоторому кратному числу волн плюс одна полуволна. Путем опытов с толстыми пластинками оба физика подтвердили последнее: им удалось получить интерференцию даже между лучами с разностью хода в 7394 волны. Поэтому они свою работу заканчивают следующими словами: *«Наличие этих явлений взаимного влияния двух лучей в случае большой разности хода интересно для теории света, поскольку оно выявляет в излучении последовательных волн неизменную регулярность, какой до сих пор не обнаружило ни одно явление»* ².

В необходимой связи с явлениями отражения и преломления находятся явления поглощения света, тем более что и те и другие оказываются связанными с состоянием поляризации соответствующего света. Уже Био ³ заметил, что кристаллы турмалина пропускают лишь необыкновенный луч, обыкновенный же луч при достаточной толщине пластинки кристалла полностью поглощается. Подобные же явления избирательного поглощения наблюдали потом и на других кристаллах, но этого процесса глубже не исследовали. И вот Гайдингер ⁴ установил, что подобно преломлению поглощение света зависит от вида оптической упругости среды, через которую проходит свет; что только в изотропных средах поглощение происходит одинаково по всем направлениям, тогда как в одноосных кристаллах оно в направлении оси происходит совершенно иначе, чем перпендикулярно к ней, и, наконец, в двуосных кристаллах оно происходит различно по всем направлениям с различной упругостью. К этому он добавил, что такое избирательное поглощение не только вообще изменяет интенсивность света, но может различным образом изменять *различные цвета* этого света. Эти явления, названные Гайдингером для одноосных кристаллов *дихроизмом*, а для двуосных *плеохроизмом*, он наблюдал на многих кристаллических веществах, но общих законов этого вида поглощения он не мог открыть. Явления поглощения света в прозрачных средах позволяли думать,

¹ „Ann. de chim. et de phys." (3), XXX, стр. 146, 1850; „Pogg. Ann.", дополнительный том II, стр. 355.

² „Ann. de chim. et de phys." (3), XXX, стр. 159, 1850.

³ См. первый выпуск настоящей части, стр. 155—156.

⁴ „Pogg. Ann.", LXV, стр.1 и сл., 1845. W. Haidinger (1795—1871) — директор Геологического института в Вене.

136 ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ

что движения колеблющихся частиц светового эфира могут хотя бы частично восприниматься молекулами тела и превращаться в другие формы силы — вероятнее всего в теплоту. Но одновременно обратили на себя внимание процессы, указывающие на то, что во многих случаях эфирные колебания, поглощенные весомой материей, возвращаются ею обратно эфиру и в более или менее измененном виде снова появляются в качестве света. Этими процессами, которые прямо наводили на мысль об оптическом резонансе, аналогичном гармоническому резонансу, явились фосфоресценция и флюоресценция света.

В прежнее время интерес физиков к явлениям *фосфоресценции* ограничивался тем, что разыскивали или составляли такие вещества, которые, будучи подвергнуты предварительно действию света, после этого сами собою светились очень сильно или очень долго. *Теория истечения*, допускавшая существование особого светового вещества, легко объясняла эти явления более значительным накоплением светового вещества в соответствующих телах и последующим затем постепенным его выделением наружу. Наоборот, в волновой теории подходящего объяснения сначала не находилось, поэтому экспериментирование с этими явлениями на первых порах отступило на задний план. Лишь после того как ученые начали более всесторонне сопоставлять волнообразные движения эфира с движениями других упругих сред, например, воздуха, после того как все более начала всплывать идея резонанса и в области света, — снова усердно принялись за изучение фосфоресцирующих тел. П. Рисс ¹ в 1845 г. подтвердил опытами над алмазами известный уже со времени Вильсона факт, что *фосфоресценция вызывается преимущественно лучами с большей преломляемостью*, красные же лучи ее ослабляют. В 1851 г. Дрэпер ² на основании своих исследований фосфоресценции плавикового шпата, вызванной электрическим светом, пришел к следующим выводам, которые следует признать несколько неравноценными: 1) во время свечения объем фосфоресцирующего тела не испытывает заметного изменения; 2) фосфоресценция, по-видимому, не вызывает никакого изменения в структуре тела; наоборот, 3) под ее влиянием, по-видимому, изменяется поверхность светящегося тела (пары ртути неодинаково сгущаются на местах темных и светящихся); 4) фосфоресцирующее тело, несомненно, излучает вместе со светом и теплоту; 5) тело, фосфоресцирующее под влиянием солнечного света, не проявляет признаков электричества; 6) абсолютное количество света, излучаемого телом путем фосфоресценции, крайне ничтожно; 7) фосфоресценция находится в связи с температурой тела — она тем сильнее, чем холоднее было тело во время его освещения. Но больше всех и, пожалуй, с наибольшим успехом занимался проблемой фосфоресценции Эдмон Беккерель ³. Его работы по данному вопросу, которые стали появляться, начиная с 1839 г., в «Com-

¹ „Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 334, 1845.

² „Philosophical Magazine“ (4), I. стр. 81, 1851. J. Will. Draper (1811—1882) — напоследок профессор химии и физиологии в Нью-Йорке, автор „Истории умственного развития Европы“.

³ Alexandre Edmond Becquerel (1820—1891) — сын Антуана Сезара Беккереля, профессор физики в Париже.

ptes rendus» Парижской академии наук, а затем в «Annales de chimie et de physique», были впоследствии собраны в особом труде «La lumière, ses causes et ses effets», 2 тома, Paris 1867/68 гг. («Свет, его причины и действия»); однако главнейшие достигнутые им результаты, а также описание фосфороскопа, были изложены уже в его работе 1859 г. «Rechers sur les divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps», «Ann. de chim. et de phys.» (3) LV, стр. 5—119 («Исследование различных световых эффектов, получающихся от действия света на тела»). Фосфороскоп состоял из двух вращающихся на общей оси дисков; на каждом из них было сделано по одному отверстию, из которых одно служило для пропускания света, а другое — для наблюдения. Оба отверстия были сделаны не прямо друг против друга, а таким образом, что перед глазом наблюдателя сначала проходило отверстие для света, а затем уже второе отверстие. Для устранения всякого постороннего света диски были помещены в прочно установленном барабане, в плоских сторонах которого, соответственно отверстиям в дисках, были прорезаны два отверстия, но расположены прямо противоположно друг другу. В направлении линии, соединяющей последние, в пространстве между дисками помещалось тело, исследуемое с точки зрения его фосфоресценции. При помощи рукоятки и зубчатых колес диски можно было приводить в столь быстрое вращение, что тела можно было наблюдать уже спустя $\frac{1}{2000}$ сек. после их облучения солнечным светом. Беккерель различает следующие виды фосфоресценции: 1) *фосфоресценцию вследствие простого повышения температуры, зачастую ниже температуры красного каления* (алмаз, плавиковый шпат); 2) *фосфоресценцию от механических действий кристаллизации или раскола*; 3) *фосфоресценцию от электричества* (свечение трубок с разреженными газами при прохождении электрического тока); 4) *самопроизвольную фосфоресценцию* (животные и растения); 5) *фосфоресценцию от инсоляции*. Для последней (наиболее обычной) он далее устанавливает следующие частные положения: 1) наиболее деятельными лучами являются фиолетовые и ультрафиолетовые; 2) для различных веществ части спектра, вызывающие фосфоресценцию, имеют неодинаковую длину и лежат в различных местах; 3) цвет излучаемого при фосфоресценции света является для каждого тела особым и не находится ни в какой связи с цветом света, вызывающего фосфоресценцию; 4) часть спектра (менее преломленная) уничтожает фосфоресценцию, вызванную облучением фиолетовыми лучами; 5) если фосфоресцирующее тело поместить в темное место, то фосфоресценция постепенно ослабевает и прекращается, но она может быть вновь вызвана последующим затем нагреванием тела; б) повышение температуры во время облучения тела солнцем ослабляет наступающую затем фосфоресценцию; 7) если спектр, дающий при обычных условиях фраунгоферовы линии от *A* до *H*, отбросить на бумагу, покрытую сернистым кальцием, то спектр значительно удлиняется, так что можно рассмотреть линии от *A* до *P*¹.

¹ Последнее положение имеется уже в статье, помещенной в „Ann. de chim. et de phys.“ (3), IX, стр. 120, а также в „Bibliothèque universelle“ за ав-

138 ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЯ

При помощи своего фосфороскопа Беккерель открыл много *новых* фосфоров и прежде всего установил, что *всем флюоресцирующим веществам присуща некоторая, хотя бы и слабая, фосфоресценция*. На этом основании он был склонен думать, что *флюоресценция* есть не что иное, как фосфоресценция *во время облучения*. Этот взгляд получил в то время всеобщее признание.

Длительность эффекта при фосфоресценции и мгновенное прекращение его при флюоресценции пытался объяснить А. Г. Эмсманн ¹. По его мнению, по отношению к световым колебаниям тела ведут себя в такой же мере различно, как сталь и железо по отношению к магнитным действиям. Атомы тела должны обладать, по его мнению, по отношению к движению, сообщенному телу путем облучения, некоторой *сдерживающей силой*, которая стремится сохранить имеющееся в данный момент расположение атомов; в фосфоресцирующих телах эта сила должна быть относительно большой, а в флюоресцирующих незначительной. Следует, однако, заметить, что это выражение «сдерживающая сила» настолько легковесно по своему содержанию, что действительно объяснить им какие-либо явления не представляется возможным.

Флюоресценция имела очень своеобразную и во многих отношениях поучительную судьбу. Первое наблюдение флюоресценции описал, как мы это видели во 2-й части настоящего сочинения, Николо Монардес в XVI веке; затем Кирхер обстоятельно занялся этими явлениями в 4-й главе своей книги «*Ars magna lucis et umbrae*» («Великое искусство света и тени»), и, наконец, Бойль описал эти явления более точно в своем духе. Со времени Ньютона в оптике стал преобладать математический метод; поэтому наблюдения фосфоресценции отошли на задний план и были преданы забвению. Только Гете ², широкий кругозор которого проявился в частности и в его учении о цветах, снова напомнил о наблюдениях Кирхера. Однако в то время *почечное дерево* перестало уже применяться в медицинской практике и очень редко встречалось в аптеках; поэтому в «Прибавлениях к учению о цветах», в главе «Мутные настои» ³ Гете указывает, как приготовить, по способу химика Деберейнера, водный экстракт из *дерева квасии* (*Lignum quassiae*), обладающий такими же оптическими свойствами, как экстракт почечного дерева (последнее, по Гете, происходит, от *Guilandina Linaei*); к этому он лично прибавил еще следующее новое наблюдение: «Если полоску свежей коры *дикого каштана* погрузить в стакан с водою, то очень скоро вода окрасится в небесно-голубой цвет, если стакан, освещенный издали, рассматривать на темном

густ 1842 г. По вопросу о том, кто первый наблюдал *удлинение спектра*, было много споров. Во всяком случае, известно, что Дж. Гершель в том же 1842 г. наблюдал подобное удлинение, отбросив спектр на бумагу, пропитанную куркумовой настойкой („Phil. Trans.", стр. 181, 1842; „On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colours"; о наблюдении с куркумовой настойкой см. стр. 194.)

¹ „Pogg. Ann.", CXIV, стр. 654, 1861.

² Sämmtl. Werke в 36 томах, т. 34, стр. 58 и т. 35, стр. 101.

³ Там же, т. 35, стр. 297.

фоне, а с другой стороны, — в прелестный желтый цвет, если стакан держать против света». Но вследствие отрицательного отношения физиков к учению великого поэта о цветах на эти ценные наблюдения тогда не обратили внимания. Впрочем, и более поздние наблюдения флюоресценции, которые Брюстер в 1833 г. произвел над хлорофиллом ¹, а в 1838 г. — над плавиковым шпатом ², не были оценены по достоинству ни им самим, ни другими физиками. Лишь в 1845 г. Джон Гершель занялся надлежащим образом флюоресценцией, предчувствуя, что здесь кроется целый класс новых оптических явлений. Изучив это явление на многих веществах и, в особенности на сернистом хинине, он описал его в двух статьях, помещенных в «Philosophical Transactions» ³, причем здесь он его истолковал как случай дисперсии, происходящей только на поверхности тел, чем, по его мнению, и объясняется факт различной окраски тел в проходящем и отраженном свете. Подобную аномальную дисперсию он наблюдал на *зеленом плавиковом шпате* из Эльстон-Мора, отливающим с поверхности нежным синим цветом, на кислом (не щелочном) растворе *сернокислого хинина* и на *эскулине* и *калопене*, но не наблюдал ее ни на цинхонине, ни на салипине. Гершель полагал, что при этого рода *поверхностном отражении* свет изменяется особым образом, в зависимости от природы отражающего вещества, и назвал отраженный таким образом с поверхности свет *эпиполизованным* (epipolized), а все явление эпиполической дисперсией (epipolic dispersion). После этого Брюстер с новым рвением принялся за свои прежние наблюдения и пришел, в общем, к тем же фактическим выводам, что и Гершель, но только никак не мог согласиться с его объяснениями. Он выводил эти своеобразные явления ⁴ не из поверхностной, а наоборот, из *внутренней дисперсии*, вызываемой «множеством двоякопреломляющих кристаллов, у которых оси двойного преломления лежат во всевозможных направлениях и которые поэтому от своих задних поверхностей отражают свет поляризованным тоже во всевозможных направлениях». «Бесчисленное множество отражающих поверхностей воспринимает и отражает свет во всевозможных направлениях, поэтому глаз, где бы он ни находился, видит весь пучок как бы самосветящимся». Некоторые различия, которые обнаружились между наблюдениями Гершеля и его собственными, и, прежде всего — отсутствие каких-либо признаков поляризации у Гершеля, Брюстер приписывает тому обстоятельству, что Гершель пользовался для своих наблюдений обыкновенным дневным светом, он же применял для наблюдений

¹ „Edinb. Trans.", XII, стр. 542, 1834 (читано в 1833 г.).

² Rep. on the VIII meeting of the brit. Assoc. for the adv. of science, Trans, of the sections, стр. 10

³ „Αμορφωτα" № 1: „on a case of superficial colour presented by a homogeneous liquid internally colourless", „Αμορφωτα", №2: „on the epipolic dispersion of light", „Phil. Trans.", стр. 143, 1845. Отдельные наблюдения, равно как и зачатки его теории, ведут свое начало от прежнего времени; уже в своем „Treatise on light" 1828 г. он говорит: „Интересный пример такой поверхностной окраски, отличающейся от цвета тела в проходящем свете, встречается на зеленом плавиковом шпате из Эльстон Мора".

⁴ „On the decomposition and dispersion of light within solid and fluid bodies", „Edinb. Trans.", стр. III, 1846; „Pogg. Ann.", LXXIII, стр. 531.

140 ИССЛЕДОВАНИЯ СТОКСА

тонкий пучок сильного света, сконцентрированного чечевицей. *Опалесценцию* некоторых тел он отличает от флюоресценции, приписывая ее существованию внутри опалесцирующих тел тонких трещин и каналов.

Но еще большее значение получили рассматриваемые явления после исследований Стокса ¹, которые дали основание для совершенно новых умозаключений о природе самого света. Стокс построил свои наблюдения следующим образом. Из вертикальной щели в ставне солнечный свет пропускаться через три поставленные друг за другом мюнхенские призмы; благодаря этому в темной комнате на расстоянии нескольких футов от щели получался довольно чистый спектр. Затем по всей длине спектра, начиная с красной части его, перемещалась реактивная трубочка с исследуемым веществом; в промежутке от красного до фиолетового не замечалось ничего особенного, но лишь только реактивная трубочка вступала в область фиолетовых лучей, жидкость начинала сама светиться призрачным голубым светом ², который по мере дальнейшего перемещения по спектру сначала еще усиливался, а потом постепенно исчезал. Это явление, равно как и найденное Беккерелем и Гершелем удлинение спектра на фосфоресцирующих веществах, Стокс охарактеризовал следующими проникновенными словами: *«внутренняя дисперсия дает физикам глаза, чтобы увидеть невидимые лучи»*. Лучи, которые однажды прошли через флюоресцирующее вещество и вызвали в нем флюоресценцию, не могут уже вызвать вторично флюоресценции в том же веществе. Для различных веществ флюоресценция, по наблюдениям Стокса, начинается в различных частях спектра; но *преломляемость падающего света никогда не бывает меньше преломляемости света флюоресценции*; однородный свет, падая на флюоресцирующее вещество, может дать сложный свет. Исследование флюоресцирующими веществами спектра *электрического света* показало, что он *содержит лучи еще большей преломляемости, чем солнечный свет, но что эти лучи почти полностью поглощаются стеклом, между тем как кварц их свободно пропускает* ³. Поэтому Стокс заказал себе призмы и чечевицы из *горного хрусталя* и исследовал позднее при помощи них спектры искры лейденской банки или вольтовой дуги. Отбрасывая полученные им таким образом спектры на пластинки уранового стекла или, еще лучше, на бумагу, пропитанную урановыми солями, он наблюдал удлиненные спектры, превосходившие в *шесть-семь раз* длину спектра видимого света ⁴. В начале своих работ Стокс применял для этих явлений название внутренней дисперсии, данное им Брюстером, но позднее, желая воздать должное воззрению Гершеля, он стал их называть *«дисперсион-*

¹ George Gabriel Stokes (1819—1903) — профессор физики в Кембридже. Президент Королевского общества.

² „Это было поистине удивительное зрелище, когда трубочка, будучи поставлена в область невидимых лучей, начинала мгновенно светиться; это была буквально видимая темнота. Коротко говоря, это явление содержало в себе нечто неземное" („Pogg. Ann.", дополнительный том IV, стр. 186).

³ „On the change of refrangibility of light", Mem. I, „Phil. Trans.", стр. 463. 1852, „Pogg. Ann.", дополнительный том IV, стр. 177; Mem. II, „Phil. Trans.", стр. 385, 1853. „Pogg. Ann.", XCVI, стр. 522.

⁴ „Phil. Trans.", стр. 599, 1862. „Pogg. Ann.", CXXIII, стр. 30.

ным отражением». Однако и это название показалось ему недостаточно нейтральным. «Признаюсь, — говорит он, — это выражение мне не нравится. Всего лучше было бы, по-моему, назвать это явление *флюоресценцией*, от частицы fluog в плавиковом шпате (Fluorspar), подобно тому как слово опалесценция произвели от опала»¹. Это выражение пришло, и во второй своей работе по тому же вопросу Стокс окончательно принял этот термин. «В своей прежней статье, — говорит он там, — я предложил название флюоресценция для обозначения общих явлений, наблюдаемых в растворе сернокислого хинина и в других подобных ему веществах. Встретив в этом одобрение, я буду теперь постоянно применять это выражение вместо прежнего выражения — истинная внутренняя дисперсия², так как оно является единственным выражением, не включающим в себя какой-либо теории»³. Последнее было особенно важно для Стокса, так как он не мог согласиться с теоретическими воззрениями своих предшественников — Гершеля и Брюстера. По его мнению, причину этого явления следовало искать не в отражении или дисперсии как внутренней, так и поверхностной, а в невидимом ультрафиолетовом свете, который во флюоресцирующих телах превращается в менее преломляемый видимый свет. В самом деле, когда волны светового эфира падают на весомые массы, то колебания эфира сообщаются частицам этих масс, если только по своей величине и положению они способны приходить в подобные колебания. Но так как в данном случае движения передаются частицами более тонкими частицам более грубым, то следует ожидать, что этот переход должен быть связан с известным уменьшением скорости колебаний, а, следовательно, и числа колебаний. Так как, далее, с весомых частиц движения передаются эфиру без изменений, то описанное поглощение и излучение света весомыми массами приводит только к тому результату, что поглощенные волны света, теряя в скорости колебания, увеличиваются в своей длине. Таким образом, заключающиеся в пучке света ультрафиолетовые лучи превращаются некоторыми телами в менее преломляемый фиолетовый или голубой свет, и этот-то излучаемый телами видимый нами свет является светом флюоресценции. Уже в первой своей статье Стокс склоняется к мысли, что на основе волновой теории причину флюоресценции следует искать только в изменении преломляемости лучей: «Внутренняя дисперсия подчиняется некоторому закону, который, по-видимому, является общим, а именно, что если при дисперсии преломляемость света изменяется, то это изменение всегда происходит в сторону понижения. Я исследовал кроме упомянутых еще много других веществ и нигде не встретил ни одного исключения»⁴. Однако именно этот закон, в общем его виде, вызвал много возражений, хотя в остальном теория Стокса и была принята. Так, Эмсман в 1859 г.⁵ флюоресценции Стокса, названной им *положительной*, про-

¹ „Pogg. Ann.“, дополнительный том IV, стр. 205.

⁵ Стокс различал *ложную* дисперсию (вызываемую частицами пыли в жидкости) и *истинную* (флюоресценцию).

³ „Pogg. Ann.“, XCVI, стр. 526.

⁴ „Pogg. Ann.“, дополнительный том IV, стр. 238.

⁵ „Marbach's physik. Lexikon“, 2. изд., VI, стр. 1081.

142 ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ ЗАКОНА СТОКСА

тивопоставил *отрицательную* флюоресценцию, при которой преломляемость лучей должна усиливаться, а в 1866 г.¹ ему даже показалось, что он доказал на опыте существование подобной отрицательной флюоресценции. Акин² и Тиндаль³ тоже полагали, что им удалось наблюдать явления, которые можно было отнести к случаям отрицательной флюоресценции. Эти наблюдения касались случаев накаливания и свечения тел в фокусе вогнутых зеркал, на которые падали невидимые тепловые лучи. Первый назвал этот случай превращения тепловых лучей в световые *кальцесценцией*, а второй — *калорисценцией*. Однако К. Бон⁴ доказал, что эти случаи не могут служить примерами отрицательной флюоресценции, так как здесь нет непосредственного превращения лучей меньшей преломляемости в лучи большей преломляемости: ^лучение радиации более высокой преломляемости является только следствием повышения температуры, вызванного тепловыми лучами, а не непосредственным действием этих последних. Труднее было опровергнуть возражения Ломмеля против закона Стокса⁵. Ломмель в 1871 г. показал, что *красная краска магдала в свете натриевого пламени, излучающего почти однородные желтые лучи, дает спектр флюоресценции, который, распространяясь от желтого цвета к зеленому, заходит за линию D; он полагал, что в данном явлении он нашел искомый случай непосредственного превращения света меньшей преломляемости в свет большей преломляемости*. Хотя Гагенбах⁶, а вместе с ним и некоторые другие скоро высказались в том смысле, что и в данном случае нет основания допускать наличия подобного превращения и что распространение спектра флюоресценции за линию D объясняется здесь недостаточной чистотой света, неполной его однородностью,— однако Ломмель до сих пор остается при своем мнении и все пытается подкрепить его новыми доказательствами⁷.

Те физики, которые не приняли закона Стокса о превращении света при флюоресценции, должны были, конечно, объяснять это явление иначе, и действительно таких попыток было сделано не мало.

¹ „Pogg. Ann.", CXXIX, стр. 352, 1866.

² „Philosophical Magazine" (4), XXVIII, стр. 554, 1864.

³ Там же, стр. 329, 1864.

⁴ „Pogg. Ann.", CXXX, стр. 367 и CXXXIII, стр. 165, 1867 и 1868.

⁵ „Pogg. Ann.", CXLIII стр. 26, 1871. Eug. Lommel (родился 1837 г.) с 1868 г. профессор физики в Эрлангене. с 1886 г. — в Мюнхене.

⁶ „Pogg. Ann.", CXLVI, стр. 65, 1872. юбил. том, стр. 303, 1874. Ed. Hagenbach (родился в 1833 г.) — профессор физики в Базеле.

⁷ Найдя еще несколько других случаев отклонения от закона Стокса, Ломмель в 1876 г. („Pogg. Ann., CLIX, стр. 514) говорил о двух различавшихся им в 1871 г. видах флюоресценции следующее: „В первом случае всякий однородный луч, способный вызвать флюоресценцию и по своей преломляемости лежащий в пределах спектра флюоресценции или в определенной области последнего, дает лучи не только большей и равной, но и меньшей длины волны, причем последние — постольку, поскольку они входят в соответствующую область. Во втором же случае каждый однородный луч света, способный вызвать флюоресценцию, возбуждает только те лучи спектра флюоресценции, которые имеют бо'льшую, чем он сам, или, по крайней мере, равную длину волны" (стр. 535). Большинство флюоресцирующих тел дает только флюоресценцию второго рода; флюоресценцию первого рода дают магдала, хлорофилл и эозин; некоторые вещества дают оба рода флюоресценции.

ТЕОРИЯ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ ЛОММЕЛЯ 143

Эйзенлор ¹ полагал, что подобно тому как из двух музыкальных тонов возникают комбинационные тоны, так из двух световых лучей различных цветов могут получаться *комбинационные цвета*, причем, конечно, как у тонов, частота колебаний должна быть меньшей, чем у слагаемых цветов. Таким образом свет флюоресценции мог бы получиться в результате сочетания ультрафиолетовых лучей с сине-фиолетовыми. Хотя Ломмель ² в 1862 г. и отверг эту гипотезу на том основании, что и однородный свет способен вызывать флюоресценцию, однако он полагал, что ее можно улучшить. По его мнению, свет флюоресценции тоже является комбинационным светом, но происшедшим не из различных цветов светового луча; *он получается в результате сочетания падающего на тело света со светом, излучаемым обратнo телом в силу оптического резонанса*. По этому поводу Бон ³ отметил, что в таком случае и отрицательная флюоресценция представляется вполне возможной, больше того — даже необходимой, так как комбинацию цветов следует допустить не только по аналогии с *разностными*, но и с *суммовыми* гельмгольцевскими тонами. Впоследствии Ломмель ⁴ сам дальше развил свою теорию в соответствии со своими новыми наблюдениями. Он допустил, что падающие лучи света способны приводить в движение не только частицы, настроенные с ними в унисон, или; усиливать движение таких частиц, но *также возбуждать весомые молекулы, настроенные на октаву ниже или выше*. Возбужденные таким образом цвета флюоресценции, равные вообще по числу своих колебаний возбуждающему свету, представляют собою *флюоресценцию первого рода*. Однако в большинстве случаев эти первоначальные тона комбинируются с возбужденными одновременно более низкими октавами в *разностные тоны*, числа колебаний которых ниже, чем у падающего света. Эти комбинационные тоны представляют собою *флюоресценцию второго рода*. Ломмель признает также возможность возникновения *суммовых цветов*, но полагает, что они вследствие малой их интенсивности должны быть незаметны ⁵.

До настоящего времени этот спор между двумя конкурирующими гипотезами окончательно еще не разрешен. И в теории Стокса и в теории Эйзенлора-Ломмеля взаимодействие между движениями эфира и движениями весомых молекул создало столь шаткий момент, что ни одна из них не могла получить решающего перевеса над другой. Нельзя, однако, не признать, что и в этой трудной области волновая теория оказалась все-таки плодотворной, что применение к свету свойств известных волнообразных движений, как, например, звука, послужило источником новых исследований; следует затем обратить внимание и на то обстоятельство, что *уже с начала сороковых годов*

¹ „Pogg. Ann.“, XCIII, стр. 623, 1854.

² Там же, CXVII, стр. 642, 1862.

³ Там же, CXXX, стр. 391, 1867.

⁴ Там же, CXLIH, стр. 26, 1871.

⁵ В 1878 г. („Wied. Ann.“, III, стр. 251) Ломмель попытался обосновать свою теорию более глубоко на математической основе. Для объяснения поглощения света он допускает существование взаимодействия, аналогичного трению между частицами эфира и частицами весомай материи.

144 ГИПОТЕЗА ДОПЛЕРА

все больше развивалось и все чаще выступало на сцену понятие оптического резонанса. Совершенно своеобразное и поразительное по своим результатам применение метода умозаключения от акустических отношений к оптическим дал в 1842 г. Х. Доплер¹. Ему пришла в голову мысль, что *ощущение* волнообразного движения должно зависеть не только от длины его волны, но также *и от движений воспринимающего органа* и самого источника волнообразного движения; это обстоятельство должно иметь одинаковое значение как для звука, так и для света. Он применил эту идею прежде всего для объяснения *цветной окраски света звезд*. С приближением к нам светящегося тела желтый свет должен переходить в зеленый, голубой и фиолетовый, а с удалением — в оранжевый и красный. Поэтому все приближающиеся к нам или удаляющиеся от нас звезды, например, все *двойные звезды*, хотя сами по себе они, вероятно, белого цвета, должны казаться нам окрашенными, что в действительности и наблюдается. Бейс-Баллот² проверил теорию Доплера в акустическом отношении на трех железнодорожных станциях между Утрехтом и Маарсеном. На станциях духовым инструментом издавался определенный музыкальный тон, а ехавшие на локомотиве музыканты должны были отмечать его высоту. Эти опыты были произведены и в обратном направлении. В том и другом случае теория Доплера по отношению к *изменению высоты тона* оказалась правильной. Однако, принимая во внимание чрезвычайно большую скорость *света*, Бейс-Баллот считал скорость звезд и земли слишком незначительной, чтобы изменить белый свет звезд в цветной. Кроме того, непосредственные наблюдения над двойными и переменными звездами привели его, по его мнению, к результатам, несогласным с этой теорией; и, наконец, исходное положение Доплера, будто первоначальный свет всех звезд должен быть белым, он считал совершенно произвольным. Доплер пытался отстоять свое мнение против Бейс-Баллота в целом ряде статей³; тем не менее, в то время почти все физики встали на сторону Бейс-Баллота и только позднее, после открытия спектрального анализа, в последнем увидели также средство для определения смещения цветов, вызываемого приближением или удалением источника света⁴.

¹ „Über das farbige Licht der Doppelsterne“, Prag 1842. Christian Doppler (1803 — 1853) — профессор математики в Праге, потом — в Хемнице и, наконец, в Вене.

² „Pogg. Ann.“, LXVI, стр. 321, 1845. Теорию Доплера подтвердил также и Скотт Руссель опытами на локомотиве, двигавшемся с большой скоростью — от 50 до 80 миль в час.

³ „Pogg. Ann.“, LXVIII, стр. 1; LXXXI, стр. 270; LXXXV, стр. 371.

⁴ Один только Б. Больцано (профессор религиозной философии в Праге) указал, что работа Доплера дает больше, чем обещает ее заглавие, будучи одинаково важной и для акустики и для оптики, равно как и для всего учения о волнообразном движении. Хотя он и не верит выводам исчислений Доплера, будто скорости движения звезды в 33 мили в секунду (к нам или от нас) достаточно для заметного изменения ее цвета, тем не менее, он заключает свою статью следующими словами: „Я ожидаю с уверенностью, что со временем ею (теорией Доплера) будут пользоваться для разрешения, на основании изменения цвета небесных тел, вопросов, движутся ли эти последние, куда и с какой скоростью они движутся, какие расстояния отделяют их от нас и

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В. А. МИЛЛЕРА 145

Интересно, что подобное все более учащающееся применение в оптике акустических аналогий оставалось почти без влияния на воззрения о *связи между светлыми и темными линиями спектра*. Правда, у Брюстера, опубликовавшего в 1850 г. новую большую работу ¹ о спектральных линиях, это было еще понятно, так как он был противником волновой теории; однако и у других физиков этот вопрос не получил должного направления. В. А. Миллер в 1845 г. ² исследовал действие *окрашенных газов и паров* на проходящий через них свет, а также много различных *пламен, окрашенных металлическими солями*, и нашел *спектры поглощения и спектры солей* самого различного и характерного вида; тем не менее, связи между этими спектрами и зависимости их от химического состава соответствующих веществ он не установил и, судя по тону его работы, совершенно не пытался определить. «Мои наблюдения, — говорит он, — касаются, главным образом, двух вещей: действия окрашенных газов и паров на проходящий через них свет и спектров, даваемых различными пламенами. Прежде чем изложить постановку опытов, я вкратце приведу главные результаты, полученные мною по первому вопросу: 1) при применении бесцветных газов мне ни разу не удавалось найти новых линий...; 2) одни цвета еще не обуславливают появления линий...; 3) по цвету газа еще нельзя судить о положении линий...; 4) *как простые, так и сложные тела дают линии, а два простых тела, в отдельности не дающих линий, в соединении могут дать большое количество линий ...*; 5) *линии могут быть и в парах простых веществ, например в парах йода, между тем как в их соединениях никаких линий нет...*; 6) *иногда одни и те же линии появляются в различных ступенях окисления одного и того же вещества...*; 7) линии увеличиваются в числе и густоте при увеличении цветного слоя, проходимого светом, а также при повышении интенсивности его окраски в силу какой-либо причины...; 8) линии появляются как в поляризованном, так и в неполяризованном свете. Хотя я еще не производил соответствующих опытов, тем не менее, я нисколько не сомневаюсь в том, что эти линии (линии поглощения), подобно фраунгоферовым, указывают на отсутствие химического влияния, а равно и света» ³. Во второй части своей работы, посвященной *спектрам окрашенных пламен*, Миллер дает только описание спектров

друг от друга, равно как для разрешения многих других вопросов" („Pogg. Ann." LX, стр. 83). Сестини (астроном в Collegio Romano) приводит в пользу теории Доплера тот факт, что в области неба, куда движется наша планетная система, преобладают голубые, в противоположной области красные, а в средней полосе белые неподвижные звезды („Pogg. Ann.". LXXXI. стр. 274)

¹ „Comptes rendus", XXX, стр. 578, „Pogg. Ann", LXXXI, стр. 471. Брюстер, заметивший у многих светлых линий (серы, азотнокислой соли стронция) совпадение с фраунгоферовыми линиями, дальше отмечает: „Я нисколько не сомневаюсь в том, что при сжигании различных солей или металлов должны наблюдаться совпадения подобных блестящих линий с другими главнейшими полосами обычного спектра" (стр. 581). Объяснения приведенного выше явления он не пытается давать.

² „Philosophical Magazine" (3), XXVII. стр. 81, 1845. LXIX. стр. 404, 1846 г.; „Pogg." Ann.". William Allen Miller (1817—1870) — профессор химии в Лондоне.

³ „Pogg. Ann.", LXIX, стр. 405 — 407.

146 НАБЛЮДЕНИЯ СВАНА, УИТСТОНА, ДЕВИ, ДЕПРЕ. АНГСТРЕМА И ПЛЮКЕРА хлористой меди, борной кислоты, азотнокислого стронция, поваренной соли и др. и приходит к следующему выводу ¹: «В связи с соображениями о поглощающем действии атмосферы солнца небезынтересно будет отметить, что когда солнечный свет пропускается через пламя, дающее ясно выраженные черные линии ², то эти линии сохраняются и в составном спектре, если только солнечный свет не слишком силен по сравнению со светом цветного пламени. *Существуют, по-видимому, светящиеся атмосферы, в которых не только отсутствуют известные лучи, но которые еще оказывают положительное поглощающее действие на свет, идущий от другого источника* ³».

Девять лет спустя У. Сван в работе ⁴ «О призматических спектрах пламен углеводородистых соединений» более подробно изучил совпадение светлых и темных линий, но пришел скорее к отрицательным, чем положительным результатам. В конце своей работы он говорит по этому поводу: *«Первое из этих совпадений (натриевой линии с линией D) давно уже известно, так как оно было открыто еще Фраунгофером; подобные же любопытные совпадения были найдены сэром Дав. Брюстером для некоторых линий спектра „горящей селитры“ и соответствующих линий солнечного спектра. Из этих странных и многочисленных совпадений можно было бы заключить, что светлые линии спектров пламен совпадают с темными линиями солнечного спектра... Однако легко видеть, что наблюдаемые отклонения линий b_2 и γ_2 отличаются не меньше чем на 40", а это значительно превышает пределы возможных ошибок при наблюдении этих линий ... Поэтому совпадение этих линий представляется очень маловероятным»* ... «На основании данных, полученных путем одновременного наблюдения спектров солнечного света и маслородного газа, а также на основании результатов наблюдений, произведенных с помощью теодолита, я заключаю, что и остальные светлые линии углеводородного спектра совпадают не с темными линиями, а со светлыми местами солнечного спектра» ⁵. Более удачными оказались результаты, полученные Сваном по вопросу о зависимости светлых линий от элементов веществ, окрашивающих пламя. Он не только установил, что светлые линии почти всех углеводородов тождественны, но что почти всегда представленная во всех спектрах светлая линия D получается от паров натрия — элемента, следы кото-

¹ Там же, LXIX, стр. 416.

² Это относится преимущественно к спектру азотнокислого стронция, в красной и оранжевой особенно развитой части которого наблюдаются три резкие, темные линии. Миллер здесь, таким образом, ошибочно приписывает пламени как светлые, так и темные полосы спектра.

³ В этой статье Миллер впервые приводит изображения спектров цветных пламен, а именно хлористой меди, борной кислоты, азотнокислого стронция, поваренной соли и хлористого бария. По сравнению с нынешними их едва можно узнать. Соответствующие соли обычно растворялись в алкоголе применявшейся для этих наблюдений спиртовой лампы, но несколько раз были также введены в струю гремучего газа. Так называемая бунзеновская горелка, играющая теперь столь важную роль в спектральном анализе, была описана Бунзеном и Роскоэ лишь в 1857 г. в работе о фотохимических измерениях („Pogg. Ann.", C, стр. 84—86)

⁴ „Edinb. Trans.", XXI, стр. 411; „Pogg. Ann." C, стр. 306.

⁵ „Pogg. Ann.", C, стр. 329—330.

НАБЛЮД. СВАНА, УИТСТОНА, ДЕВИ, ДЕПРЕ, АНГСТРЕМА И ПЛЮКЕРА 147

рого распространены повсюду и которого достаточно взять всего в количестве $\frac{2}{100\ 000}$ грана, чтобы дать светлую полосу *D* в спектре пламени. Наряду со спектрами пламени был подвергнут исследованию и *спектр электрической искры*, преимущественно *световой дуги Дэви*. Уитстон в 1835 г. нашел ¹, что спектры электрических искр, проскакивающих между металлическими полюсами, сходны с солнечным спектром и подобно (последнему состоят из семи групп окрашенных линий, отделенных друг от друга темными промежутками, но для разных металлов эти линии настолько резко отличаются по своей окраске, расположению, а также по своему числу, что примененный металл можно легко узнать по его спектру. Фуко заметил в 1849 г. ², что *две светлые полюсы в спектре дуги Дэви всегда совпадают с двойной темной линией D солнечного спектра*. Депре в 1850 г. ³ на основании своих опытов пришел к заключению, что светлые линии в спектре электрической Искры не зависят от силы тока. Ангстрем показал в 1855 г. ⁴, что *мимические соединения металлов дают те же линии, что и сами металлы*. Он считал только необходимым отметить, что в некоторых случаях отдельные линии в спектрах соединений отсутствовали, или же наблюдались только с трудом, и что в сплаве олова с цинком он наблюдал небольшое смещение линий из голубой части спектра в сторону фиолетовой ⁵. Но Плюкер в 1858 г. ⁶ по спектру электрической искры в гейслеровской трубке вполне точно определял газы, которыми трубка была наполнена. По его мнению, спектр аммиака образуется из наложения друг на друга спектров водорода и азота; спектр кислорода характеризуется двумя узкими блестящими полосами на границе спектра и в оранжевой части ⁷.

¹ Там же, XXXVI, стр. 148. ² „L'Institut", стр. 45, 1849.

³ „Comptes rendus", XXXI, стр. 419.

⁴ „Pogg. Ann.", XCIV, стр. 141.

⁵ Насколько Ангстрем был еще далек от правильного представления о постоянстве спектральных линий, видно из следующих его слов: „Однако прямой опыт показал, что линия *D* в электрическом спектре (спектры электрических искр при различных электродах в различных газах) не вполне совпадает с желтой линией, образующейся в пламени алкоголя или в наружной части пламени свечи, но лежит несколько ближе к красному цвету. Эта желтая линия совпадает с линией, общей всем металлам, лежащей влево от *D* и обозначенной мною буквою *n* („Pogg. Ann.", XCIV, стр. 148)". Всем металлам свойственна линия *n*; также, по-видимому, всем им свойственна и лежащая в красной части спектра линия *m*, хотя вследствие малой ее яркости трудно точно определить ее положение" (стр. 150). Позднее Ангстрем (там же, CXVII, стр. 293, 1862) жаловался, что основоположники спектрального анализа недостаточно оценили его заслуги в данной области; мы, однако, склонны считать его претензию недостаточно обоснованной.

⁶ „Pogg. Ann.", CV, стр. 67. Плюкер здесь говорит: „Полагаю, что я первый определенно приписал световые явления, сопровождающие электрический разряд в длинных трубках с разреженным газом,— если отвлечься от особых явлений вблизи обоих электродов,— исключительно следам газа, оставшимся в трубках".

⁷ „Pogg. Ann.", CV, стр. 78.— Julius Plücker (1801—1868), до 1833 г. экстраординарный профессор в Бонне, потом преподаватель Берлинской гимназии Фридриха-Вильгельма, с 1834 г. профессор математики в Галле, с 1836 г. профессор математики в Бонне. Работал сначала почти исключительно в области геометрии,

148 ЗАКОН ПОГЛОЩЕНИЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТА

Интересно, что раньше, чем постоянство спектральных линий было установлено, к объяснению темных фраунгоферовых линий, а, следовательно, и к раскрытию тайны спектрального анализа пришли совершенно неожиданно не с этой, а с другой стороны. Ангстрем, высказав в своей упомянутой выше работе 1855 г. мысль, что *«тело в раскаленном состоянии должно излучать как раз все те лучи, которое оно при обыкновенной температуре поглощает»* — мысль, требовавшую, конечно, еще уточнения и дальнейшей проработки. Однако пять лет спустя Бальфур Стюарт ¹ высказал уже совершенно определенно тот самый закон об отношении между поглощением и излучением, который вскоре затея получил такую известность благодаря Кирхгофу: «The absorption of a plate equals its radiation and that for every description of heat» («Поглощение пластины равно ее излучению, и это имеет место для любого рода тепла») ². Однако из самых этих слов видно, что автор, имея в виду, прежде всего теплоту, не предчувствуя еще связи этого закона со спектральным анализом. Вообще, рассматривая все работы этого периода, нельзя не признать, что хотя в наблюдениях над спектром в то время не было недостатка и хотя приемы наблюдения были в общем удовлетворительны, тем не менее, несмотря на обилие материала, в указанных выше исследованиях явно еще не содержалось мысли о спектральном анализе. До сих пор работы касались еще чисто эмпирической стороны проблемы, простого наблюдения явлений, проблема же спектрального анализа могла быть разрешена не путем простого наблюдения, а только путем теоретической обработки наблюденного. *Те, кто в науке считают вполне достаточным или даже только возможным простое описание явлений, могут здесь на примере убедиться, как далеко можно уйти только с подобным описанием, без установления или хотя бы допущения причинной связи между явлениями.* Упомянутые до сих пор чисто оптические работы касались вопроса о поглощении света весомыми массами лишь постольку, поскольку поглощенный свет наблюдался опять-таки в виде света, хотя бы и в измененной форме. Однако со времени установления закона сохранения силы эту проблему приходилось ставить еще в более общем виде и исследовать также и те случаи превращения света, которые не приводили снова к световым явлениям. Эти исследования представляли особую сложность, так как отделять друг от друга действие световых и тепловых лучей было трудно или даже невозможно. Более доступным представлялся еще вопрос о *превращении световых движений в химические силы*, так как соответствующие явления были наиболее резко выражены ³, а лучи света и тепла проявляли здесь, по-видимому, противопо-

где проложил новые пути, которые, однако, не получили скорого признания; с конца сороковых годов он занялся исключительно исследованиями в области физики, где опять-таки с особым интересом предавался изысканию новых путей.

¹ „Edinb. Trans“, XXII, стр. 1 и 51, 1861. Эта работа датирована 1858 годом и вышла под следующим заглавием „An account of some Experiments on Radiant Heat involving an extension of Prevost's theory of Exchanges“. — Balfour Stewart (1828—1837) — профессор физики в Манчестере.

² Там же, стр. 13.

³ Открытие фотографии, по-видимому, значительно способствовало оживлению исследований в этой области.

ножные свойства. В самом деле, прежние исследователи химического действия света полагали, что подобное действие способны вызывать только наиболее преломляемые лучи, тогда как красные и желтые способны только уничтожить действие первых. Правда, Эд. Беккерель, сохраняя за наиболее преломляемыми лучами исключительную способность *начинать* химическое действие, полагал, что и все прочие лучи способны *поддерживать* однажды начавшееся химическое действие ¹; а Мозер считал все вообще лучи способными производить одни и те же химические действия и полагал, что они отличаются друг от друга лишь по степени действия. Однако новейшие исследователи в этой области, Физо, Фуко, Дрэпер и др., снова примкнули к точке зрения прежних физиков. Для объяснения этого разногласия Дрэпер обратил внимание на то обстоятельство, что в призматическом спектре *фиолетовый* конец значительно более растянут и, так сказать, сильнее разрежен, чем красный, и что это разрежение вообще затрудняет точное определение относительной активности различных частей спектра; поэтому он предложил применять для такого рода исследований *дифракционные спектры*. Затем, начиная с 1855 г., стали публиковаться результаты ряда широко поставленных опытов Бунзена и Роскоэ, которые, после неудач с хлорной водой ², нашли наиболее подходящий для этих целей объект исследований в смеси хлора и водорода, полученной электролитическим путем из соляной кислоты ³. Однако являются ли наблюдаемые химические действия результатом превращения света или же световые лучи только освобождают химические силы напряжения, заключающиеся в материи, и в какой мере освобождающую силу можно считать пропорциональной произведенному действию, — эти вопросы до сих пор еще почти не были поставлены в фотохимических исследованиях.

В заключение нам остается хотя бы только упомянуть о развитии оптики в совершенно ином направлении, сделавшем за этот период большой шаг вперед. До настоящего столетия *математическая оптика* имела в этой дисциплине преобладающее значение. Под влиянием этого направления наиболее характерною особенностью световых явлений считалось *прямолинейное распространение световых лучей*, и все оптические явления в материальном мире старались свести к изменениям этого прямолинейного хода. Ньютоновская теория истечения служила хорошим примером плодотворности такого представления. Однако под влиянием волновой теории и новейших воззрений в физике *причин этих изменений направлений* стали все больше искать в *телах и во взаимодействии между волнообразными колебаниями эфира и движениями весомых масс*. Таким образом, возникла *физическая оптика*, отдельные части которой мы только что рассмотрели. Однако и последняя не оказалась в состоянии объяснить всех наших световых ощущений. Это заставило обратить особое внимание на деятельность

¹ „Pogg. Ann.“. LXXVII, стр. 82.

² Там же, XCVI, стр. 373.

³ Там же, С стр. 43 и 481 и др. Согласно Бунзену и Роскоэ один только Дрэпер („Philosophical Magazine“ (3), XXIII, стр. 401, 1843) впервые до них применял смесь водорода и хлора для фотохимических измерений.

органа, воспринимающего свет, и на его влияние; таким образом, получила развитие еще и физиологическая оптика ¹. Первые работы в этой области начались с пересмотра чисто математической теории цветов, вызвавшей уже ранее столь много возражений. Что при этом сказалось (вообще говоря, отрицаемое) общее влияние гетевского учения о цветах, в этом едва ли можно сомневаться, принимая во внимание характер отдельных тем. За это говорит и то обстоятельство, что наиболее плодотворный исследователь в данной области, Г. Гельмгольц ², начал ряд своих исследований популярной лекцией «Об естественнонаучных работах Гете» ³, в которой он подробно и с любовью занялся этим выстраданным детищем великого поэта. К сожалению, мы можем здесь лишь бегло указать на многие интересные работы в данной области. Плато ⁴, Фехнер ⁵, Брюке ⁶ и другие с необычайным прилежанием и даже во вред своему здоровью ⁷ исследовали цвета, которые Гете назвал физиологическими и которые теперь получили название субъективных. Причину последних нашли, во-первых, в том, что ощущение продолжается некоторое время и после прекращения внешнего раздражения, причем, однако, это время не одинаково для различных цветов, и, во-вторых, в некоторой особенности глаза, в силу которой при длительном цветном раздражении, ощущение глазом этого цвета постелено ослабевает и из нового внешнего цветного раздражения глаз воспринимает только цвета, дополнительные к прежнему. Плато в 1830 г. измерил продолжительность светового впечатления ⁸ и нашел, что она зависит не только от силы света, как этого требовала теория, но также от его окраски. Эмсман в 1854 г. ⁹ пришел к несколько расходящимся с Плато значениям, но принципиально его данные оказались вполне согласными с данными Плато.

¹ Разделение этой области представило большие трудности, главным образом потому, что, в конце концов, появился еще один новый претендент на участие в этом разделении, а именно философия, выдвинувшая требование философской или психологической оптики. Эти притязания философии опирались на учение Канта, согласно которому пространство есть чистое представление и всякое познание наряду с данными наших чувств опирается на чистые функции нашего разума как на элементы, организующие и объединяющие наше восприятие. Однако физиология в сознании достигнутых ею успехов не была склонна замкнуться в узкие границы. Впрочем, в эти дискуссии, которым наравне с другими многочисленными разногласиями между философией и естествознанием не предвидится скорого конца, мы здесь дальше входить не можем.

² Обширное сочинение Гельмгольца: „Physiologische Optik“ начало появляться с 1856 г. в качестве особого тома «Allg. Encyklopädie der Physik» G. Karsten'a.

³ Прочитана в 1853 г. в заседании Германского общества в Кенигсберге; перепечатана в его „Vorträge und Reden“, стр. 1, Braunschweig 1884.

⁴ Ряд статей в „Pogg. Ann.“ от XXXII до LXXX.

⁵ „Pogg. Ann.“, XLIV, стр. 221; XLV, стр. 227; L, стр. 194 и 427.

⁶ Там же, LXXXIV, стр. 418, 1851.

⁷ Плато и Фехнер в результате этих исследований потеряли зрение — первый на всю жизнь, второй временно. Брюке заканчивает свою статью следующими словами: „Если я на этом заканчиваю свои исследования, то это происходит только потому, что последствия продолжительного напряжения глаз не позволяют мне их продолжать“ („Pogg. Ann.“, LXXXIV, стр. 447).

⁸ „Pogg. Ann.“, XX, стр. 304.

⁹ Там же, XCI, стр. 611.

ИРРАДИАЦИЯ. АККОМОДАЦИЯ ГЛАЗА 151

Труднее было достигнуть единогласия по вопросу о существовании *иррадиации*. Баден Поуэль высказался в 1849 г.¹ против теории Плато о распространении светового раздражения на сетчатке за пределы изображения, считая иррадиацию не *субъективным*, а *объективным* явлением, вызываемым дифракцией, происходящей частью в глазу, а частью в оптических приборах, например в зрительных трубах и т. п. Он, а также Г. Велькер² в качестве довода против субъективности иррадиации указали на то обстоятельство, что ее можно наблюдать и на искусственном глазе и что ее можно всегда устранить при помощи линз.

Затем Г. Мейер³ указал на *сферическую aberrацию* как на причину иррадиации; другие считали ее следствием *неполной аккомодации* глаза. Гельмгольц показал, что *оба эти фактора*, последний в большей степени, чем первый, могут вызвать *круги рассеяния света* вокруг изображений, которые и дают явление иррадиации. Но так как Фолькман установил, что иррадиация бывает и при полной аккомодации глаза, то для нее пришлось искать третьей причины. По Гельмгольцу⁴ последняя заключается в замеченном уже Фраунгофером⁵ *неполном ахроматизме* глаза. Большинство физиологов и физиков присоединилось тогда к этому мнению, и допущение Плато о распространении ощущений за пределы изображения было оставлено как ненужное, хотя возможность этого явления и не была никем опровергнута.

Неменьшие трудности, чем при объяснении иррадиации, представились и при исследовании процессов, происходящих в глазу *при аккомодации*. Брюке в 1845 г. указал на четыре возможные причины аккомодации⁶: 1) удлинение радиуса кривизны роговой оболочки; 2.) изменение выпуклости поверхностей хрусталика; 3) перемещение последнего вперед и 4) удлинение глазного яблока вдоль продольной его оси. Он лично склонялся к принятию *последнего предположения* как наиболее вероятного. Вскоре, однако, Лангенбек и Гельмгольц⁷ установили, что действительной причиной аккомодации является *вторая* из упомянутых выше. Своеобразное явление различного *блеска* тел Довэ в 1851 г.⁸ объяснил различием яркости и цвета изображений, образующихся в обоих глазах от соответствующих предметов, и подтвердил свою теорию опытами со стереоскопом. *Невидимость инфракрасных и ультрафиолетовых лучей* Брюке пытался объяснить, вопреки существовавшему тогда мнению о нечувствительности сетчатки к этим

¹ „Rep. of the Brit. Assoc.", 1849; Communications to the Sections, стр. 9. Bade Powell (1798—1860) — духовное лицо, профессор геометрии в Оксфорде.

² „Über Irradiation", Giessen 1852.

³ „Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 540. 1853.

⁴ „Physiolog. Optik", стр. 321, Leipzig 1867.

⁵ „Gilbert's Ann.", LVI, стр. 304, 1817.

⁶ „Fortschr. d. Physik" I, стр. 199.

⁷ M. Langenbeck, Klinische Beiträge, Göttingen 1849. Helmholtz: „Über eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Auge bei veränderter Accommodation", „Monatsber. d. Berl. Akad." 1853, стр. 137; „Über die Accommodation des Auges", „Gräfe's Archiv f. Ophthalmologie", II, стр. 1, 1856; см. также „Wissensch. Abhandlungen", II, стр. 280 и 283.

⁸ „Pogg. Ann." LXXXIII, стр. 183.

152 ШКАЛА ЦВЕТОВ. ЦВЕТА МУТНЫХ СРЕД

лучам, поглощением их прозрачными средами глаза¹. Вместе с Карстеном и Кноблаухом он доказал это поглощение прямыми опытами над бычачьими глазами². Однако неоценимое значение в деле изучения глаза, и в особенности сетчатки, как в здоровом, так и в больном состоянии, а, следовательно, и для развития офтальмологии, имело изобретение Гельмгольцем *глазного зеркала* в 1851 г.³

Любопытное *обогащение шкалы цветов*, к которому нельзя было прийти обыкновенным исследованием солнечного спектра, было сделано Брюке в 1848 г.⁴. Он обратил внимание, что в солнечном свете нельзя найти двух определенных цветов, *коричневого* и *серо-лавандового* (замеченного уже Гершелем), но что их легко воспроизвести при помощи поляризационного аппарата. Он расколол гипсовые пластинки террасообразно и положил их под поляризационный микроскоп. Тогда при параллельных николях, начиная с наиболее тонкого слоя, пластинки выглядели сначала бесцветными, затем серо-лавандовыми, фиолетовыми и т. д.; при скрещенных же николях на месте серо-лавандового цвета появился коричневый. *Таким образом коричневый цвет менее преломляем, чем красный, а серо-лавандовый сильнее преломляем, чем фиолетовый.* Позднее Листинг⁵ установил, что серо-лавандовому цвету соответствует вдвое большее число колебаний по сравнению с коричневым и что, следовательно, воспринимаемые глазом колебания света составляют как раз целую октаву.

Вопрос о *цветах мутных сред*, игравший столь важную роль в учении Гете, был снова исследован Брюке⁶, который в общем подтвердил наблюдения великого поэта. Мутную среду Брюке называет смесь двух или нескольких веществ различной преломляемости, в которой частицы одного из смешиваемых тел настолько малы, что они в отдельности невидимы, а заметны лишь потому, что они уменьшают прозрачность. Подобные мутные среды он получал, пуская в воду каплями спиртовой раствор мастики. Из наблюдений таких смесей он установил, *что мутные среды — при отражении света — сильнее поглощают лучи меньшей преломляемости⁷, а в проходящем свете имеет место обратное явление, вследствие чего, — как это показал Гете, — на темном фоне мутные среды должны казаться голубыми, а на светлом фоне, наоборот, красными или желтыми.* В свете, отраженном мутными средами, нашли, как и следовало ожидать, своеобразные поляризацион-

¹ Там же, LXV, стр. 593, 1845.

² Там же, XIX, стр. 549, 1816..

³ „Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge“, Berlin 1851; напечатано также в „Wissensch. Abhandlungen“. II, стр. 229.

⁴ „Pogg. Ann.“, LXXIV, стр. 461.

⁵ „Pogg. Ann“, CXXXI, стр. 564, 1867.

⁶ „Über die Farben, welche trübe Medien im auffallenden und durchfallenden Lichte zeigen“, Sitzungsber. der Wiener Akademie“, IX, стр. 530; „Pogg. Ann.“, LXXXVIII, стр. 363. 1853. Ernst Wilhelm Brücke (1819—1891) — с 1849 г. профессор физиологии в Вене.

⁷ Согласно френелевской формуле отражения света для прозрачных тел отражение возрастает с преломляемостью. Хотя при единичном отражении перевес на стороне сильнее преломляемого света ничтожен, но при многократном — как это бывает в мутных средах — он становится значительным.

ЦВЕТ УТРЕННЕЙ И ВЕЧЕРНЕЙ ЗАРИ 153

ные явления. А именно, луч такого света, если на него смотреть перпендикулярно к его направлению, оказывается вполне поляризованным, причем плоскость поляризации совпадает с плоскостью отражения. Эти поляризационные явления по своему характеру совершенно совпадали с теми явлениями, которые уже с давнего времени наблюдали на дневном свете, диффузно отраженном атмосферой. Впервые на эту частичную поляризацию дневного света обратил внимание Араго¹; затем Бабине² и в особенности Брюстер³ последовали ее дальше. Араго, равно как и Брюстер, полагал, что поляризация происходит вследствие прямого отражения света от частиц воздуха. Брюке же полагал, что это отражение происходит от посторонних частиц, взвешенных в воздухе, и что голубой цвет атмосферы, равно как цвет утренней и вечерней зари, следует отнести за счет цветов мутных сред⁴. Незадолго до Брюке Клаузиус дал совершенно иное объяснение голубой окраски воздуха⁵. И, по его мнению, свет атмосферы, несомненно, является отраженным, но причиной отражения он считал лишь *мелкие пузырьки пара*, «так как только они могут пропускать свет атмосферы без изменения». Если оболочки пузырьков очень тонки, то вследствие интерференции они должны давать голубую окраску. Когда пузырьки утолщаются, одновременно всегда образуются новые мелкие пузырьки и белый свет первых будет лишь ослаблять голубой свет последних. В проходящем же свете мелкие пузырьки должны окрашиваться в дополнительные цвета к голубому, т. е. они должны казаться красными,— во всяком случае, когда свет проходит через достаточно толстый слой этих пузырьков. Вследствие той же причины при высоком стоянии солнца свет его должен быть белым, а на горизонте — красным или желтым. Это объяснение Клаузиуса вызвало много возражений. Помимо сходства указанных явлений с явлениями, наблюдаемыми на мутных средах, для теории Клаузиуса оказалось неблагоприятным допущение пузырьков пара, существование которых все более оспаривалось. *Возникновение подобных пузырьков пара представлялось физикам этого периода еще более трудно объяснимым, чем даже голубой цвет неба*, тем более что повторные тщательные микроскопические исследования над конденсированными атмосферными осадками никогда не давали результатов, благоприятных для последней гипотезы⁶.

¹ „Pogg. Ann.", XXXII, стр. 126, 1834.

² „Comptes rendus", XI, стр. 618, 1840; „Pogg. Ann.", LI, стр. 562.

³ „Pogg. Ann.", LXVI, стр. 456 и XLVII, стр. 592. 1845 и 1846.

⁴ В приведенной статье Брюке говорит о цветах мутных сред следующее: „Применение всего того, что здесь было сказано вообще о мутных средах, к цветовым явлениям в нашей атмосфере настолько просто, что едва ли мне нужно на этом останавливаться. Легко понять, почему цвет утренней и вечерней зари не является дополнительным к небесно-голубому, но содержит гораздо больше красного, чем дополнительный... что у нас нет основания полагать, что свет солнца сам по себе является желтым, но что желтая окраска происходит от атмосферы... что луна, когда стоит высоко на небе, кажется нам белее, чем на горизонте, так как между нею и нами в первом случае имеется более тонкий слой мутной среды, чем во втором" („Pogg. Ann.", LXXXVIII, стр. 379).

⁵ „Pogg. Ann.", LXXVI, стр. 161 и 188, 1849.

⁶ *Работа Клаузиуса снова оживила старый спор о присутствии пузырьков пара в атмосфере*. Ральяр в 1852 г. („Cosmos"), 1, стр. 610, 1852) выска-

154 ЦВЕТ НЕБА И ВОДЫ

В последнее время Гагенбах ¹ высказал мысль, что внутреннее рассеяние света в атмосфере является отражением его от слоев воздуха неодинаковой плотности, и ныне склоняются к мысли, что и это отражение действительно играет роль в деле образования цветов атмосферы. Однако этим дискуссия по данному вопросу не ограничилась и попытки новых объяснений этого явления продолжают и до сих пор. Никольс считает небесную голубизну субъективным явлением, вызываемым более быстрым утомлением сетчатки по отношению к лучам большей преломляемости по мере усиления света. Фон-Лоренц тоже считает это явление субъективным, но вызываемым одновременным восприятием темного фона небесного свода и белого света, отраженного от пыльных частичек, находящихся в атмосфере. По Лаллеману голубой цвет неба, по крайней мере, частично, является цветом флюоресценции, вызванной поглощением ультрафиолетовых лучей атмосферой; Шаппюи же утверждает, что часть голубого цвета вызывается присутствием в воздухе озона.

Всем этим попыткам объяснения голубого цвета неба соответствовали исследования над *цветом воды*. Подобно тому, как по началу атмосферному воздуху приписывали в качестве его естественной окраски весьма слабый голубой цвет, так и воду считали окрашенной в слабый голубой цвет и этим объясняли ее зеленую окраску. Но затем, когда в воде начали наблюдать такие же явления *внутренней диффузии* света, как и в атмосфере, тогда и цвет водных масс стали тоже объяснять внутренней диффузией. Однако по данному вопросу между различными мнениями имеется еще меньше согласия, чем даже в приведенном выше случае ².

зал мысль, что в пользу их существования говорит также мало естественнонаучных оснований, как мало самые эти пузырьки нужны для объяснения естественных явлений. Р. Филлипс („Philosophical Magazine" (4), V, стр. 28, 1853), напомнив, что жидкие пузырьки стремятся сжаться с силою, которая при равной толщине стенок обратно пропорциональна их диаметрам, заявил, что пузырьки пара, если бы они когда-нибудь и возникли, сжали бы заключенный в них воздух так сильно, что он должен был бы уйти из них в силу некоторого рода эндосмоса. Клаузиус на это возразил, что пленки этих пузырьков должны быть очень тонкими и потому должны обладать очень незначительным напряжением и что эти пузырьки после их разрушения должны очень легко вновь образовываться. Если Уэллер („Phil. Trans.", стр. 28, 1847) под микроскопом не наблюдал распада или разрыва пузырьков, то это можно объяснить и незначительным размером получавшихся при этом частиц. Возражая Брюке, Клаузиус указал, что в зените, где голубой цвет наиболее интенсивен, преобладает все-таки единожды отраженный голубой цвет и что массивные шарики жидкости не могут давать цветов тонких пластинок (Брюке привел это соображение в качестве второго момента для объяснения цветов в атмосфере) („Pogg. Ann.", LXXXVIII, стр. 543, 1853). Наконец, Кисслинг (преподаватель гимназии в Гамбурге) привел еще один весьма убедительный довод против теории пузырьков. Если образовать искусственный туман в сосуде и затем пропустить через него лучи света таким образом, чтобы получились дифракционные кольца, то в случае, если бы частицы воды были пузырьками, кольца должны были бы при увеличении давления расширяться а при уменьшении давления — сжиматься. Между тем в действительности радиусы колец остаются без изменения {Verdet-Exner, Wellentheorie des Lichtes, II, стр. 407}.

¹ „Pogg. Ann.", CXLVIII. стр. 77, 1873.

² W. Spring („Bull. Ac. Roy. Belgique", XII, стр. 814, 1886; „Beiblätter zu Wie-

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА (приблизительно от 1840 до 1860 г.). В области *теории электричества* физики в сороковых годах нашего столетия очутились в тяжелом положении. Оптика и учение о теплоте в это время уже отказались от особых основных материй и сошлись на едином эфире как наитончайшей и наиболее упругой материи, пронизывающей все прочие вещества без заметного сопротивления и только потому невесомой. В электричестве же и в магнетизме все еще оставались особые невесомые электрические жидкости, а порою и магнитные, роль которых было трудно понять и трудно ограничить. Представляют ли собою эти жидкости действительно особые вещества, отличные от светового и теплового эфира, или же электрические и магнитные явления следует рассматривать лишь как особый вид действия того же эфира? Этот вопрос требовал уже не простого утверждения или отрицания, а фактического доказательства, что эти явления действительно могут быть выведены из особых движений эфира. Поэтому большинство физиков, может быть, и отвечало на этот вопрос, в положительном смысле молча, про себя ¹, но лишь немногие попытались открыто обосновать эту точку зрения.

И, действительно, немногочисленные предпринятые в это время попытки перенести *волновую теорию* на электричество обещали очень мало успеха ², а попытки некоторых физиков открыть в электрических явлениях *надежные признаки волнообразных движений* привели только к *отрицательным результатам*. Так, Вартман в 1845 г. тщетно пытался ³ открыть в электричестве явления *интерференции*, а в следующем году с таким же отрицательным результатом работал де-Гальда ⁴, пытавшийся открыть в магнетизме *отражение, преломление* или *диффузию*. Поэтому даже и те физики, которые всегда интересуются общей связью явлений, оставив пока в стороне вопрос о сущности того движения, которое мы называем электричеством, пытались лишь выработать такое воззрение, которое прямо не требовало бы допущения особых электрических жидкостей. Эта группа ученых, с самим Фарадеем во главе, оставив *дуалистическую* теорию электричества, считавшуюся

dem. Ann.", XI, стр. 822) подтверждает новыми опытами, что естественный цвет воды голубой, а все прочие окраски являются цветами мутных сред, происходящими вследствие присутствия в воде твердых частиц.

¹ Очень интересно в этом отношении одно замечание Фехнера („Pogg. Ann.", LXIV, стр. 342, 1845): „Следует отметить, что то, что до сих пор определялось как скорость электричества, в действительности не является скоростью его частиц, а скоростью распространения их волнообразного движения. На это различие, обратившее на себя до сих пор очень мало внимания, но вполне заслуживающее его, впервые, насколько мне известно, обратил внимание В. Вебер".

² Сравни А. J. Maas, „Bull. Ac. Roy. Belg". XIV, 1847; W. A. Norton, „Silliman's Journ.", IV, стр. 1 и 207, 1847.

³ „Comptes rendus", XX, стр. 1803, 1845 — Джон Мак Грегор („Die Fortschr. d. Physik im Jahre 1847," стр. 468) приводит четыре основания, в силу которых представляется невероятным, чтобы на электричестве когда-нибудь были открыты явления интерференции: 1) проводники электричества неоднородны; 2) токи неодновременно протекают по своим проводам; 3) не существует совершенно постоянных электрических токов; 4) у нас нет органа чувств для непосредственного восприятия интерференции электрических явлений.

⁴ „Comptes rendus", XXII, стр. 873, 1846.

156 ЗАКОН ОМА

столь долгое время бесспорной, вернулась к теории *единой* жидкости, которую можно было без особого труда отождествить с эфиром. Само собою понятно, что это воззрение встретило сочувствие прежде всего в Англии, среди соотечественников Фарадея ¹. Но во *Франции* и *Германии* против него возражали, указывая, что при современном состоянии знания о строении материи подобное воззрение еще не имеет *реального значения*, являясь в то же время *значительно менее удобным и плодотворным* для *математической разработки* электрических явлений, чем общепризнанная дуалистическая теория. Поэтому ограничились тем, что старое воззрение стали рассматривать только как полезную вспомогательную гипотезу, не претендующую на объективную действительность, и сохранили ее в силе без дальнейших изменений. *Большим успехом* сопровождалось изучение *количественной стороны* электрических явлений и именно *этими достижениями*, *начавшими особенно быстро накапливаться с сороковых годов*, в значительной мере определились *поразительные успехи современной электротехники*. Правда, в начале этого периода, когда закон Ома начал получать все большее признание, были сделаны попытки, преимущественно с французской стороны, оспорить его общность и точность. Так, Мариё Дави в 1846 г. ² заявил: «Итак, следует остерегаться приписывать законам Ома общность, которой они не имеют. У меня имеются, может быть, основания сомневаться в их точности даже в применении к термоэлектрическим токам; что же касается простых гидроэлектрических цепей. то они значительно уклоняются от этих законов». Соответственно этому и Дебре в 1852 г. заявил ³, что закон Ома отнюдь не представляет собою точного выражения явлений, а Секки ⁴ согласился с ним в отношении тех случаев, когда в цепь введены большие сопротивления. Однако Муаньо, помещая статью Дебре в своем журнале «Cosmos», отметил, что он лично совершенно не согласен со школой, которая ставит себе задачей доказывать неполное совпадение теоретически доказанных законов с практикой и пытается заменить эти законы набором отдельных наблюдений и эмпирических формул. Еще резче выразился в своем отзыве об этих работах Беетц ⁵: «Подобное напоминание особенно уместно в парижском журнале, так как «Comptes rendus» Парижской академии наук больше всех других журналов отличаются тем, что обременяют науку подобными исследованиями, не приводящими ни к каким выводам и физическим законам». Между тем

¹ Слогетт („Philosophical Magazine", XXVIII. стр. 443, 1846) и Смит (там же. XXXIX, стр. 404, 1816) приняли вновь теорию Франклина в ее первоначальном виде; Стивенсон (там же, XXIX, стр. 405) счел необходимым видоизменить ее в том направлении, что только проводники при избытке электрической жидкости являются положительно наэлектризованными, а непроводники при том же условии — наэлектризованными отрицательно.

² „Comptes rendus", XXXIII, стр. 602 „Il faut se garder d'accorder aux lois de Ohm une généralité qu'elles il'ont pas. J'ai peut-être lieu de douter de leur exactitude, même pour les piles thermo- électriques. Quant aux piles hydro-électriques simples, elles s'en écartent considérablement".

³ „Comptes rendus" XXXIV, стр. 781; „Cosmos", I, стр. 186.

⁴ „Cosmos", I, стр. 329; „Fortschr. d. Physik im Jahre 1852" стр. 477.

⁵ „Die Fortschr. d. Physik". VIII, стр. 477.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗАКОНА ОМА 157

в 1847¹ и в 1848 гг.² Кольрауш при помощи устроенного им электрометра измерил электрическое напряжение на полюсах разомкнутой гальванической батареи и *полностью подтвердил предпосылки Ома относительно этих напряжений. После этого отпали всякие сомнения в действительности закона Ома.* Г. Кирхгоф еще в 1847 г. уверенно положил закон Ома в основание своих знаменитых работ о *разветвлении тока*; в 1849 г.³ он дал более полное обоснование своего закона; при этом он не исходил подобно Ому из положения, что напряжение в элементе тока пропорционально плотности массы электричества в нем, а определил это напряжение с помощью *потенциала электричества* в соответствующем месте. Таким образом, Кирхгоф стал одним из первых физиков, которые признали важное значение понятия электрического потенциала, позволяющего исключить проблематическое понятие плотности электрической массы, и стали его применять соответствующим образом. Гельмгольц, в своей работе 1851 г.⁴, еще более *расширил* область применения закона Ома. Он показал, что этот закон имеет силу не только для постоянных токов, в которых выравнивание силы тока происходит по всей длине проводника, но что видоизмененное выражение этого закона может быть применено и к индуцированным токам, вызванным колебаниями тока, и что с увеличением периода это выражение асимптотически приближается к закону Ома. В конце концов, Комиссия британской ассоциации⁵ в 1876 г. еще раз подтвердила этот достаточно старый, много раз уже проверенный закон. Проблема *разветвления тока*, как мы уже частью указали раньше, была разработана для некоторых отдельных случаев Омом, Пуллье, Уитстоном, Поггендорфом и В. Вебером⁶. Однако только Кирхгоф поставил и разрешил эту задачу в столь общем виде, что все последующие работы основывались на его решении. Оба закона, в которых содержится разрешение всех проблем разветвления тока, он дал еще в 1845 г., будучи студентом 21 года, в прибавлении к своей работе «Über den Durchgang eines Stromes durch eine Ebene, insbesondere eine kreisförmige» («О прохождении тока через плоскость, в частности — ограниченную окружностью»)⁷. Эти законы гласят: «Если через

¹ „Pogg. Ann.", LXXV. стр. 220.

² Там же. LXXVIII стр. 1.

³ „Pogg. Ann.", LXXVIII. стр. 506; „Gesamm. Abbandl.", стр. 49. Leipzig 1882.

⁴ „Über die Dauer und den Verlauf der durch Strömschwankungen inducirten elektrischen Ströme, („Pogg. Ann.", LXXXIII, стр. 505; „Wissenschaftl. Abhandlungen", стр. 429, Leipzig 1882.

⁵ „Rep. of the Brit. Assoc", 1876, стр.36; „Rep. of the Committee... for testing experimentally Ohm's Law".

⁶ Уитстон („Pogg. Ann.", LXII, стр. 499, 1841) занимался этой проблемой для теоретического обоснования устроенного им прибора, так называемого „уитстоновского мостика", который должен был служить для сравнения сопротивлений. Поггендорф („Pogg. Ann.". LXVII, стр. 273) дал формулы для применения этого прибора и экспериментально проверил их правильность совместно с В. Вебером.

⁷ „Pogg. Ann.", LXIV, стр. 497. „Gesamm. Abhandl.", стр. 1. Leipzig 1882. Gustav Robert Kirchhoff (родился 12 марта 1824 г. в Кенигсберге) — в 1847 г. приват доцент в Берлине; в 1850 г. экстраординарный профессор в Бреславле; в 1854 г. ординарный профессор физики в Гейдельберге; в 1874 г. профессор физики в Бер-

158 ЗАКОНЫ РАЗВЕТВЛЕНИЯ ТОКА

систему проводов, связанных между собою произвольным образом, проходят гальванические токи, то

1) в случае, если провода 1, 2, ..., μ сходятся в одной точке,

$$I_1 + I_2 + \dots + I_\mu = 0,$$

где $I_1, I_2, \dots$ обозначают силы токов, проходящих по соответствующим проводам, причем все токи, направленные к упомянутой точке, являются положительными;

2) в случае, если провода 1, 2, ..., ν образуют замкнутую фигуру,

равно сумме всех электродвижущих сил, образующихся на пути 1, 2, ..., ν , где $\omega_1, \omega_2, \dots$ обозначают сопротивления проводов, $I_1, I_2, \dots$ — силы протекающих по ним токов, причем токи, текущие в одном направлении, считаются положительными»¹. *Подробный вывод этих законов* последовал двумя годами позже², и *общее решение вопроса о разветвлении тока* было дано Кирхгофом в следующих словах: «Пусть m представляет собою общее число точек пересечения, т. е. точек встречи двух или большего числа проводов, и пусть $\mu = n - m + 1$ ³; тогда общим знаменателем для всех величин I будет сумма тех сочетаний из $w_1, w_2, \dots, w_n$ по μ элементов в каждом, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{k\mu}$, которые обладают тем свойством, что по удалении проволок $k_1, k_2, \dots, k_\mu$ не остается ни одной замкнутой фигуры; а числителем для I_λ является сумма сочетаний из $w_1, w_2, \dots, w_n$ по $\mu - 1$ элементов в каждом, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{k\mu-1}$, имеющих то свойство, что по удалении проводов $k_1, k_2, \dots, k_{\mu-1}$ остается замкнутая фигура, заключающая в себе λ проводов; каждое из этих сочетаний помножается на сумму электродвижущих сил, находящихся на соответствующей замкнутой фигуре. При этом электродвижущие силы следует считать положительными в том направлении, в котором I считается положительным»⁴. Доказательство своих законов Кирхгоф дал сначала для случая *линейных проводников*; в следующем году⁵ он распространил его на случай *телесных проводников*, приближающихся подобно проволокам к линейной форме, и таким образом распространил свое доказательство на все вообще формы проводников, применяемые при опытах. В то самое время, когда таким образом закладывалось прочное основание для математической разработки динамического электричества, без внимания не оставлялась и *математическая разработка статического электричества*, потому что именно здесь было где развер-

лине, где и умер 17 октября 1887 г. Сочинения его, помещенные первоначально в различных журналах, были затем изданы под заглавием „Gesammelte Abhandlungen“, Leipzig 1882. Его „Vorlesungen über mathemat. Physik: Mechanik“ выдержали с 1876 г. три издания.

¹ „Gesamm. Abhandl.“, стр. 15.

² „Pogg. Ann.“, LXXII, стр. 497, 1847. „Gesamm. Abhandl.“, стр. 22.

³ n есть общее число всех вообще связанных между собою проводов.

⁴ „Gesamm. Abh.“, стр. 23.

⁵ „Pogg. Ann.“, LXXV, стр. 189, 1848; „Gesamm. Abhandl.“, стр. 33.

КОНСТРУКЦИЯ ТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМЕТРОВ 159

нуться математическому таланту. Так как согласно Кулону электрические жидкости принадлежат к тем веществам, которые действуют прямо пропорционально массам и обратно пропорционально квадратам расстояний, то знаменитое сочинение Гаусса «Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstossungskräfte» («Общие георемы, касающиеся сил притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния») ¹ оказалось применимым и ко всем проблемам статического электричества. По стопам Гаусса пошел Лежен-Дирихле, между тем как позднее Риман больше приблизился к направлению Грина. Затем эту разработку успешно продолжали в Германии Нейман, В. Вебер, Кирхгоф и особенно Клаузиус, а у англичан У. Томсон и Клерк Максвелл. *Систематические же сочинения*, охватывающие все достижения того времени в области математического учения об электричестве, дали Клаузиус ² и Клерк Максвелл ³. В работах по *статическому* электричеству главное внимание было уделено *распределению электрических масс на отдельных поверхностях и телах любой формы, а также взаимной электрической индукции между несколькими телами*. При этом, однако, математические трудности оказались столь большими, что упомянутые проблемы получили свое разрешение лишь для случаев простейших форм поверхностей и тел.

Для *измерения количеств статического электричества* до сороковых годов преимущественно применяли еще старые *электроскопы с золотыми листочками*; однако для проверки полученных теперь математических выводов они оказались слишком *неточными и ненадежными*. Поэтому внимание обратилось в сторону усовершенствования *крутильных весов Кулона*, которые до этого времени почти вышли из употребления, вследствие трудности обращения с ними и связанной с этим ненадежностью результатов. Главными дефектами этого прибора оказались недостаточная устойчивость начального положения коромысла и изменчивость кручения подвесной нити. Сноу Гарисс ⁴ попробовал для устранения этих недостатков подвесить коромысло на двойной нити (бифилярно), но результаты не оправдали ожиданий. В это же время Пельтье ⁵ вернулся к мысли Швейггера ⁶ и заменил коромысло магнитной иглой, вращающейся на острие; однако и эта поправка не имела успеха. Более плодотворной оказалась конструкция Эрстеда, данная им в 1840 г.⁷, заключавшаяся в сочетании идей Кулона и Швейггера. Он заменил шеллаковую палочку Кулона медной палочкой с припаянным к ней для подвешивания нити слабо намагниченным железным

¹ „Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Ver. im Jahre 1839“; также „Sämmtl. Werke“, V, стр. 195.

² „Die mechanische Behandlung d. Elektrizität“, Braunschweig 1879.

³ „A treatise on electricity and Magnetism“, 2 изд., London 1881; перевод на немецкий язык: „Lehrbuch der Elektrizität und Magnetismus“, Berlin 1863.

⁴ „Phil. Trans.“, стр. 417, 1836.

⁵ „Ann. de chim. et de phys.“ (2), LXII, стр. 422, 1836

⁶ См. первый выпуск этой части, стр. 192.

⁷ „Pogg. Ann.“, LIII, стр. 612.

160 КОНСТРУКЦИЯ ТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМЕТРОВ

ушком, магнитность которого сообщала и медному коромыслу твердое начальное направление. Электричество подводилось не при помощи шара, а при посредстве двух медных рычажков, действовавших на оба конца коромысла. Дельман, применявший весы Кулона в их первоначальном «виде еще в 1840 г.¹ для своих наблюдений над атмосферным электричеством, изменил их в 1842 г.² следующим образом: коромыслом служила у него медная палочка, как у Эрстеда, а электричество подводилось, как у Пельтье, другою медною палочкой, которая была расположена под коромыслом параллельно последнему и, следовательно, действовала на него всей своей длиной. Для фиксирования начального положения коромысло (немагнитное) имело посредине изгиб, благодаря чему оно могло быть положено одной половиной на одну сторону приводящего стержня, а другой половиной — на другую часть его. Ромерсгаузен в 1846 г.³ заменил приводящую проволоку полоской; он расщепил ее посредине и выгнул обе половины в противоположном направлении, так что прямое коромысло можно было «положить в желобок. Наконец, Кольрауш в 1847 г. до известной степени завершил усовершенствование этого прибора⁴. Нить кокона он заменил стеклянною с большею силою кручения; для более удобного заряжения он от проводящей полоски провел стерженек наружу, пропустив его изолированно через дно прибора; воздух в последнем он осушал при помощи концентрированной серной кислоты; стеклянное дно и стеклянные боковые стенки прибора он заменил металлическими (во избежание их заряжения) и оставил стеклянной лишь крышку, через которую при помощи лупы он и наблюдал отклонения стержня. При помощи такого именно прибора Кольрауш провел указанную выше работу по проверке закона Ома, а также формул Кирхгофа для интенсивности разветвляющихся токов. Другой прибор, устроенный наподобие синус-буссоли и названный синус-электрометром, был изготовлен Кольраушем в 1853 г.⁵ Электрометр Рисса, примененный последним при его измерениях, начиная с 1855 г.⁶, очень мало отличался от только что указанного⁷.

¹ „Pogg. Ann.“, LIII, стр. 606, 1841.— Friedr. Dellmann (1805—1870) — преподаватель гимназии в Крейцнахе.

² „Über Oersted's „Elektrometer und ein neues Instrument der Art“ („Pogg. Ann.“, LV, стр. 301. 1842).

³ „Pogg. Ann.“, LXIX, стр. 71. Elard Romershausen (1784—1857) — пастор в Акене на Эльбе.

⁴ „Über das Dellmann'sche Elektrometer“ („Pogg. Ann.“, LXXII, стр. 353 и LXXIV, стр. 499). Rud. Kohlraush (1800—1858) — сначала преподаватель гимназии, а с 1857 г. ординарный профессор физики в Эрлангене,

⁵ „Pogg. Ann.“, LXXXVIII, стр. 497.

⁶ Там же, XCVI, стр. 513.

⁷ Мы не можем здесь входить в подробное описание новейших электрометров, значительно превышающих по своей тонкости и точности эти более старые приборы. Наиболее совершенными из них, к которым по существу сводятся и все остальные, являются *квадрантный электрометр* и *абсолютный электрометр* У. Томсона. Первый построен по принципу кулоновских весов; второй же в качестве измерительного прибора пользуется двумя параллельными противоположно наэлектризованными пластинками. Поскольку взаимное притяжение этих пластинок может быть прямо измерено при помощи противовеса, этот прибор дает возможность приводить действие электрических сил к абсолют-

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СИЛЫ И ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИИ 161

Электростатические измерения снова с полной достоверностью установили, частью непосредственно, частью путем проверки математических выводов, что электростатические и магнитные силы полностью и без изъятия подчиняются кулоновскому закону действия пропорционально массам и обратно пропорционально квадратам расстояний. Поэтому многие физики были склонны предполагать, что этот вид действия должен рассматриваться как основное свойство всех сил природы, и отсюда далее заключили, что по аналогии с явлениями тяготения и все прочие естественные явления следует объяснять непосредственным действием на расстоянии. Однако с таким строгим единством природы, при котором даже было трудно предусмотреть возможность разнородных действий сил природы, электродинамические явления были совершенно несовместимы. Ньютоновское воззрение не знало для сил никакой иной зависимости, как только от массы и расстояния тела; закон сложения скоростей, сообщаемых телу ускоряющей силой, и вообще закон сложения сил в том виде, как его точно сформулировал Ньютон, прямо отрицал зависимость действия сил от движения действующих тел, и ни один астроном никогда не вводил в свои исчисления зависимости тяготения от космических скоростей тяготеющих тел. Наоборот, электродинамические силы обязательно предполагали движение действующих масс и вполне явно зависели от этого движения, а именно, поскольку при покое электричества они вообще не возникали и по самому своему понятию требовали движения.

Ампера вопрос об этом противоречии не интересовал. Он установил понятие *силы*, или *интенсивности*, тока в качестве *основного понятия*, а от вывода этой силы из сил электрических жидкостей он совершенно воздержался. Приняв для электродинамического взаимодействия двух элементов тока прямую пропорциональность произведению их интенсивностей и обратную пропорциональность некоторой степени их расстояния, он с *внешней стороны* как будто еще сохранил *общую форму ньютоновского закона* притяжения; но его формула не могла быть *выведена* из основных свойств электричества, а только из *данных опыта*; ее чисто эмпирический характер выражался и в том, что она допускала применение только в своей специальной области, а именно, к случаю взаимодействия двух электрических токов. *Амперовская формула не соответствовала какому-либо общему воззрению на сущность нового случая действия сил, она была лишь выражением чисто эмпирического факта.* Это особенно подчеркнул В. Вебер при выводе *им нового основного электрического закона*, отметивший для обоснования своей мысли, что формула Ампера отнюдь не выявила себя в качестве истинного закона природы, каким, например, является закон тяготения; что она не оказалась плодотворным орудием при открытии новых явлений, а также при изучении родственных явлений, и что все

ной механической мере. Впервые идею подобного измерения дал еще Сноу Гарнс в своей статье, помещенной в „Phil. Trans.” в 1834 г., стр. 215. У. Томсон описал свои электрометры сначала в „Rep. of the Brit. Ass.”, 1855. „Trans. of the sect.”, стр. 22; затем подробно в „Rep. of the Brit Ass.”, стр. 489, 1867. См. также *Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität*, I. стр. 165; *Cl. Maxwell, „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus”*, I, стр. 343.

162 ОСНОВНОЙ ЗАКОН ВЕБЕРА

последующие успехи, например открытое индукции и ее законов, были достигнуты независимо от теории Ампера ¹. Вебер считает необходимым *оба закона действия*, приводившиеся до сих пор отдельно для *электростатических* и *электродинамических* действий, т. е. законы Кулона и Ампера, слить в *единый закон*, который охватил бы все электрические явления. Для этого, прежде всего, необходимо, *чтобы понятие об интенсивности тока было сведено к основным представлениям о взаимодействии электрических масс* ².

Динамическое действие тока может зависеть только от массы электричества, действующей в данной точке в течение известного времени; или *интенсивность тока должна быть пропорциональна количеству электричества, протекающего в единицу времени через каждое поперечное сечение провода*. Следовательно, если через e обозначить массу положительного электричества, заключенного в единице длины провода, а через u — его скорость, то интенсивность i положительного тока должна быть пропорциональна произведению eu , или должно иметь место равенство $i = aeu$, если a обозначает постоянное отношение между массой и ее дееспособностью. От такого определения *интенсивности тока* есть лишь *два пути к основному электродинамическому закону*: либо можно показать, каким образом из элементарных действий слагаются фактически наблюдаемые действия, либо можно формулу Ампера, выражающую общий результат действий, разложить на составные части, соответствующие элементарным действиям. Вебер использовал оба эти пути.

Если в формулу Ампера ³ для интенсивности тока вставить выражения Вебера, то получается:

$$\frac{ee'ds ds'}{r^2} a^2 uu' \left(\cos \epsilon - \frac{3}{2} \cos \vartheta \cos \vartheta_1 \right),$$

¹ „Elektrodynamische Maassbestimmungen“, I Abh., „Abhandl. bei Begründung der K. Sächs. Gesellsch. der Wissenschaft.“, 1816; извлечение в „Pogg. Ann.“, LXXIII, стр. 193, 1848.

² Попытку такого сведения сделал уже Фехнер в своей работе „Über die Verknüpfung von Faraday's Inductionerscheinungen mit den Ampere'schen elektrodynamischen Erscheinungen“ („Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 337), и В. Вебер частично использовал исходные положения Фехнера. Последний в начале своей работы говорит: „До сих пор действие элементов тока друг на друга рассматривалось в целом, но, очевидно, разложению общего действия на действия отдельных составных частей... ничто не препятствует, поскольку такое разложение, с одной стороны, снова приводит к результату, полученному на опыте, а с другой стороны,— открывает путь к требуемой связи“ (стр. 338). Принципы этой связи заключаются в следующем: 1) *Каждое действие элемента тока можно рассматривать как составленное из действия некоторой положительной и равной ей по силе отрицательной частиц, которые одновременно пробегают один и тот же элемент пространства в противоположных направлениях*; 2) *соответственно такому сложению взаимодействие двух элементов тока может быть представлено на основе предположения, что однородные электричества действуют друг на друга притягательно, когда они движутся в одном и том же направлении или к общей вершине угла; разнородные же электричества — когда они движутся в противоположных направлениях или когда одно из них приближается к вершине общего угла, а другое от нее удаляется*“ (стр. 338).

³ См. первый выпуск этой части, стр. 196.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ВЕБЕРА 163

или же

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \alpha^2 u u' \left(\frac{1}{2} \frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr}{ds'} - r \frac{d^2 r}{ds ds'} \right),$$

если, по Амперу, подставить dr/ds вместо $\cos\theta$, — dr/ds' вместо $\cos\theta_1$,

и

$$- r \left[\frac{d^2 r}{ds ds'} - \frac{dr}{ds} \cdot \frac{dr}{ds'} \right] \quad (\text{вместо } \cos\epsilon. \text{ Если, далее, принять, — а согласно}$$

дуалистической теории электричества это представляется необходимым, — что через каждый элемент проводника одновременно протекают в противоположных направлениях *два* одинаковых количества положительного и отрицательного электричества, то взаимодействие *двух* элементов тока сложится из *четырёх* элементарных действий, двух притяжений и двух отталкиваний; тогда приведенное выше выражение соответствует величине взаимного отталкивания двух положительных электричеств в обоих элементах тока. Для трех остальных действий мы можем вывести совершенно аналогичные формулы. Во всех этих формулах величины dr/ds , dr/ds' и т. д. могут быть исключены и заменены *скоростями*. В самом деле, если принять во внимание, что расстояния r зависят от положения элементов в цепи тока, т. е. от s , а, следовательно, и от времени t , то путем двукратного дифференцирования можно получить:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{ds} \frac{ds}{dt} + \frac{dr}{ds'} \frac{ds'}{dt}$$

и

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{d^2 r}{ds^2} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2 + 2 \frac{d^2 r}{ds ds'} \cdot \frac{ds}{dt} \cdot \frac{ds'}{dt} + \frac{d^2 r}{ds'^2} \left(\frac{ds'}{dt} \right)^2,$$

или, если подставить u вместо ds/dt и u' вместо ds'/dt и возвести первую формулу в квадрат, то

$$2uu' \frac{dr}{ds} \frac{dr}{ds'} = \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - u^2 \left(\frac{dr}{ds} \right)^2 - u'^2 \left(\frac{dr}{ds'} \right)^2,$$

и

$$2uu' \frac{d^2 r}{ds ds'} = \frac{d^2 r}{dt^2} - u^2 \frac{d^2 r}{ds^2} - u'^2 \frac{d^2 r}{ds'^2}.$$

Подставив эти значения в приведенную выше формулу электродинамического действия двух положительных элементов, составив соответствующие выражения для остальных трех действий и сложив эти

164 ОСНОВНОЙ ЗАКОН ВЕБЕРА

четыре выражения, мы получим для совокупного действия обоих элементов

$$-\frac{ee' ds ds'}{r^2} \frac{a^2}{16} \left[\left(\frac{dr_I}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dr_{II}}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dr_{III}}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dr_{IV}}{dt} \right)^2 - \right. \\ \left. - 2r \left(\frac{d^2 r_I}{dt^2} - \frac{d^2 r_{II}}{dt^2} + \frac{d^2 r_{III}}{dt^2} - \frac{d^2 r_{IV}}{dt^2} \right) \right],$$

причем следует лишь принять во внимание, что все dr/ds и d^2r/ds^2 , где ds суть элементы провода, должны быть равны между собою и что формула Ампера, выражающая совокупное действие, здесь применена и просуммирована четыре раза. С другой стороны, последняя формула может быть разложена на четыре части, которые все имеют следующий вид:

$$-\frac{ee' ds ds'}{r^2} \frac{a^2}{16} \left[\left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - 2r \frac{d^2 r}{dt^2} \right],$$

и которые с переменной знаков e и e' переходят одна в другую. Каждая из них в отдельности обозначает элементарное действие четырех электричеств, протекающих по элементам тока, а приведенная выше формула представляет собою общий закон взаимодействия движущихся количеств электричества. Так как в это выражение уже не входят *интенсивности токов*, а только *количества электричества*, и так как оно представляет отдельно действия различных электричеств, то к нему легко присоединить выражение для статического действия электричеств. Тогда взаимное действие двух электрических масс eds и $e'ds'$, независимо от того, находится ли электричество в покое или в движении, выразится самым общим образом в следующем виде:

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \left[1 - \frac{a^2}{16} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{a^2 r}{8} \cdot \frac{d^2 r}{dt^2} \right],$$

или, если через v обозначить относительную скорость обеих электрических масс, отнесенную к соединяющей их линии:

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \left(1 - \frac{a^2}{16} v^2 + \frac{a^2 r}{8} \cdot \frac{dv}{dt} \right).$$

Таким образом, формула Ампера привела Вебера к тому выводу, что *взаимное действие электрических масс зависит не только от электрической материи как таковой, но также от состояния ее движения, от ее скорости и ускорения.*

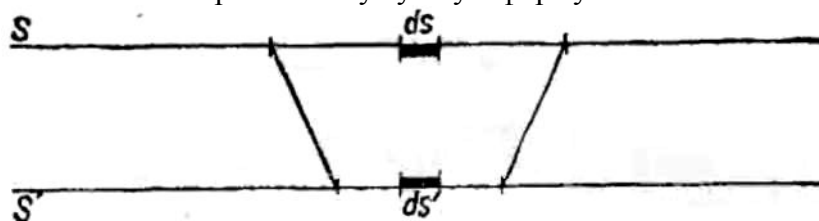
К такому же результату должны были привести, *независимо от теории Ампера*, и основные электродинамические опыты. Если представить себе два элемента положительного электричества e и e' протекающими по двум проводам, то их электростатическое отталкивание ee'/r^2 должно под влиянием движения измениться, ибо в противном случае

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ВЕБЕРА 165

электродинамическое действие было бы вообще невозможно. Но тогда, во-первых, спрашивается, должно ли движение увеличивать или уменьшать силу. Рассмотрим два элемента, расположенных на одной прямой и движущиеся в одном и том же направлении. Здесь имеют место два отталкивания двух положительных или двух отрицательных электричеств и два притяжения разноименных электричеств. Но так как в рассматриваемом случае результирующей силой является *отталкивание*, и, следовательно, отталкивания элементов с меньшей относительной скоростью имеют перевес над притяжениями элементов с большей относительной скоростью, то скорость должна производить ослабление электростатических сил, ибо увеличения сил под влиянием скорости мы допустить не можем. Но *отталкивание* остается совершенно тем же, когда направление токов заменяется противоположным; следовательно, ослабление силы может зависеть не от нечетной, а лишь от *четной* степени скорости. Если сделать наиболее простое предположение, что ослабление силы пропорционально *квадрату* скорости, за что говорит и закон действия сил любых движущихся масс, то взаимное действие двух частиц тока можно будет выразить через $(ee'dsds'/r^2)(1-av^2)$, где a обозначает неопределенную пока еще постоянную, а v — *относительную* скорость обеих частиц. Однако это выражение еще недостаточно для электрических действий. Представим себе два параллельных и одинаково направленных пути тока S и S' (см. черт. 1) и пусть интенсивность тока, а, следовательно, и скорость в S будет больше, чем в S' . Представим себе, далее, два элемента тока ds и ds' , которые расположены прямо друг против друга; тогда здесь относительная скорость электричеств будет как раз равна нулю, до этого места она уменьшалась до нуля, а за ним она будет возрастать. Однако, так как и в этой точке, где относительная скорость равна нулю, электродинамическое действие все-таки существует, а именно, здесь имеет место притяжение, то, значит, все взаимодействие должно вообще зависеть не только от относительной скорости, но также от *ускорения*, причем влияние последнего должно быть противоположно влиянию скорости. Следовательно, к полученному нами выражению для электрической силы следует еще прибавить новый член, пропорциональный ускорению. В силу этого, если через b обозначить еще вторую неопределенную постоянную, взаимодействие двух движущихся масс электричества будет равно

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \left(1 - av^2 + b \frac{dv}{dt} \right).$$

Если затем сложить соответствующие действия четырех количеств электричества в обоих токах и сравнить эту сумму с формулой Ам-



Черт. 1.

166 ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЗАКОН ГРАССМАНА

пера, то для действия двух движущихся количеств электричества снова получаем прежнее выражение

$$\frac{ee' ds ds'}{r^2} \left(1 - \frac{a^2}{16} v^2 - \frac{a^2 r}{8} \cdot \frac{dv}{dt} \right).$$

Постоянной a можно теперь придать *более* наглядный вид. Для этого представим себе, что токи имеют столь большую постоянную относительную скорость c , что электрическое взаимодействие их равно нулю; в таком случае должно быть:

$$1 - \frac{a^2}{16} \cdot c^2 = 0, \quad \text{или} \quad a = \frac{4}{c};$$

отсюда для взаимного действия масс электричества получается следующее выражение:

$$W = \frac{ee' ds ds'}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{2r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right].$$

Электрический закон силы Вебера был революционным актом первостепенной важности, чреватый великими последствиями. Со времени Ньютона все действия сил в последнем счете сводили к основным свойствам материи, которые в своих действиях были совершенно независимы от состояния движения. По Веберу же эти основные действия видоизменяются под влиянием движения, и не только скорость, но даже ускорение вызывает новые силы, независимые от свойств покоящейся материи. Таким образом, единое ньютоновское воззрение на силу, считавшееся прочно установленным для всей области физики, было снова поставлено под знак вопроса благодаря старому революционному элементу — электричеству, вследствие чего стал несомненным возврат к прежнему воззрению на движение как на действительное начало, порождающее силы. Однако у физиков того времени было еще мало склонности заниматься столь принципиальными вопросами в этой области, поэтому против новых воззрений на действие электрических сил в то время не было высказано особых возражений¹. С другой стороны, Веберу необходимо было разобраться в исследованиях других физиков, которые разрабатывали *гальваническую индукцию* с совершенно иной точки зрения, но в то же время пришли к выводам, вполне согласным с наблюдением.

Уже в 1845 г., т. е., таким образом, раньше упомянутых работ Вебера, появились два аналогичных исследования Г. Грассмана и Фр. Неймана, которые дали *теорию гальванической индукции*, не прибегая при этом к каким-либо новым предположениям о характере действия электрических сил.

¹ Характерно, что Кренинг, один из основателей механической теории теплоты еще в 1864 г. („Pogg. Ann.", CXXIII, стр. 305), высказался следующим образом: „Новейшая наука, насколько мне известно, придерживается исключительно той точки зрения, что все вообще силы следует рассматривать лишь как функции расстояний, а не как функции скоростей”.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ЗАКОН ГРАССМАНА 167

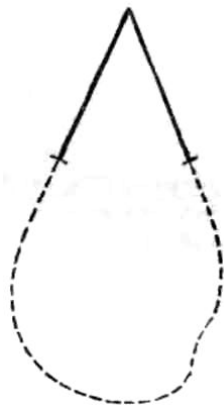
Грассман¹ признал электродинамический закон Ампера, безусловно, правильным по отношению к замкнутым токам, но считал применение его к частям или элементам тока невозможным; ибо, во-первых, этот закон предполагает, что направление взаимодействия между двумя бесконечно малыми частицами тока совпадает с прямой, соединяющей последние, и, во-вторых, из формулы для параллельных элементов тока получается уничтожение электродинамического действия во всех тех случаях, когда косинус угла между элементами и прямой, соединяющей их центры, равен $\sqrt{2/3}$. Поэтому при выводе нового электродинамического основного закона он исходил из действия *углов тока* на элемент, лежащий, хотя бы своим началом, в плоскости угла. Поскольку угловой ток можно считать замкнутым на бесконечно большом расстоянии (см. черт. 2), к нему применим закон Ампера. Если, далее, вместе с последним принять, что действие углового тока на элемент тока пропорционально проекции последнего на плоскость тока, то из формулы Ампера получается для этого действия следующее выражение:

$$W = \frac{ib_1}{r} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - \operatorname{ctg} \frac{\alpha'}{2} \right),$$

где i обозначает интенсивность углового тока, b_1 — проекцию интенсивности элемента тока, r — расстояние вершины угла от начальной точки элемента тока, α и α' — углы, образуемые этой линией со сторонами угла. Но в этом выражении каждая часть в отдельности, очевидно, представляет действие каждой стороны угла на элемент тока; поэтому действие луча, идущего из какой-либо точки в бесконечность, на элемент тока должно быть равно

$$W = \frac{ib_1}{r} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

Наконец, если притягивающий элемент тока рассматривать как соединение двух бесконечно простирающихся лучей, обладающих направлением и интенсивностью этого элемента, причем по одному из них (положительному) ток протекает в том же направлении, что и по элементу, а по другому в противоположном, причем, далее, начальная точка элемента служит для одного началом, а для другого



Черт. 2.

¹ „Neue Theorie der Elektrodynamik“, „Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 1, 1845. Hermann Günther Grassmann (1809—1877) — сын Юстуса Грассмана, изобретателя особого крана воздушного насоса, изучал теологию в Берлине; позднее, не прослушав математических лекций, держал экзамен на право преподавания математики и физики. С 1843 г. преподаватель в штеттинском реальном училище, затем в тамошней гимназии. В 1844 и 1862 г. опубликовал свои работы по общему учению о протяжении („Die Ausdehnungslehre“), получившие, однако, признание лишь с конца 70-х годов („Mathem. Ann.“, XIV, стр. 1).

168 ТЕОРИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ НЕЙМАНА

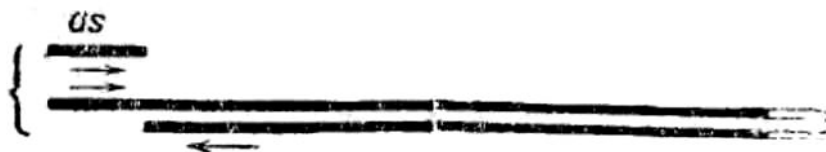
концом (см. черт. 3), то для выражения действия элемента тока a на другой элемент b ,

$$W = \frac{ab_1}{r} \sin \alpha,$$

удаленный от него на расстояние r , легко получается

где b_1 , обозначает нормальную проекцию b на плоскость, проведенную через a и r , а α представляет угол между a и лучом, проведенным к b . При этом движение происходит нормально к b (или b_1) в плоскости, проходящей через a и r , в ту сторону, в которой видна сторона a угла α , если на нее смотреть с другой стороны этого угла ¹. Таков основной электродинамический закон Грассмана, имеющий за собой, во всяком случае, преимущество простоты ². Но против правильности его было выдвинуто возражение ³, что этот закон не удовлетворяет началу равенства действия и противодействия, так как он представляет лишь действие на элемент тока того элемента, который соответствует концу тока, но не дает обратного действия. К этому следует, во всяком случае, прибавить, что и Грассман сводит электродинамическое действие только к элементам тока, но не к силам электрических масс.

Нейман ⁴ при рассмотрении электродинамических действий исходил из явлений гальванической индукции, но при этом тоже пришел к выводу взаимодействия электрических элементов. В основу своих выводов он положил следующие пять опытных положений: 1) индукционные токи возникают во всех тех случаях, когда возможное действие индуцирующего тока на проводник претерпевает изменение; 2) индуцированная электродвижущая сила не зависит от природы проводника; 3) при прочих равных условиях электродвижущая сила пропорциональна скорости перемещения элементов; 4) составляющая по направлению



Черт. 3.

¹ „Pogg. Ann.", LXIV, стр. 9.

² Грассман обращает внимание на интересную аналогию между электродинамическим основным законом и законом тяготения („Pogg. Ann.", LXIV, стр. 11 и 12).

Согласно его „Ausdehnungslehre" (Leipzig 1844, 2 изд., 1878) можно в качестве произведения двух точек, действующих с силами определенной интенсивности рассматривать расстояние этих точек, помноженное на произведение этих интенсивностей, точно так же в качестве произведения двух отрезков можно рассматривать параллелограмм, образованный этими отрезками (с сохранением их направления); тогда действие тяготения, равно как и электродинамическое действие, представляется формулой ab/r^3 .

³ Гельмгольц, „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 92; „Wissenschaftl. Abh.", I, стр. 779.

⁴ „Abhandl. d. Berl. Akad. d. Wiss.", стр. 1, 1845 (доложено 27 октября 1845 г.) и стр. 1, 1847 (доложено 9 августа 1847 г.). Также: „Vorlesungen über elektr. Ströme" von Franz Neumann, herausgeg. von van der Mühl, стр. 267 — 295, Leipzig 1884.

ТЕОРИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИИ НЕЙМАНА 169

движения электродинамического действия, которое индуцирующий ток производит на индуцированный, всегда отрицательна; 5) при прочих равных условиях интенсивность индуцированного тока пропорциональна интенсивности индуцирующего. Из этих положений он вывел математически, без дальнейших допущений, выражения для *индуцированной силы тока* и для *индуцированной движущей силы*. В самом деле, если представить себе проводник движущимся таким образом, что всего его элементы имеют одинаковую скорость v , и если обозначить через Cds составляющую по направлению движения электродинамического действия гальванического тока на элемент ds , по которому протекает единица тока, то из вышеприведенных опытных положений для величины *электродвижущей силы, индуцированной током* в элементе проводника, получается формула $E ds = -\epsilon v C ds$, где ϵ обозначает некоторый постоянный коэффициент. *Это основная формула теории Неймана*. Из нее для всей индуцированной в проводнике электродвижущей силы получается выражение $E = -\epsilon \Sigma C v ds$, где суммирование Σ должно быть распространено на все элементы ds проводника. Произведение «силы тока на элемент времени» Нейман называет *дифференциальным током* D , а, принимая во внимание, что $D = E dt/w$ (где w обозначает сопротивление), он из предыдущего получает:

$$D = -\frac{\epsilon}{w} \Sigma C v ds \cdot dt.$$

Отсюда для всего действия индуцированного тока за промежуток времени от t_0 до t_1 или для *интегрального тока*, получается формула:

$$J = -\frac{\epsilon}{w} \int_{t_0}^{t_1} dt \Sigma C v ds.$$

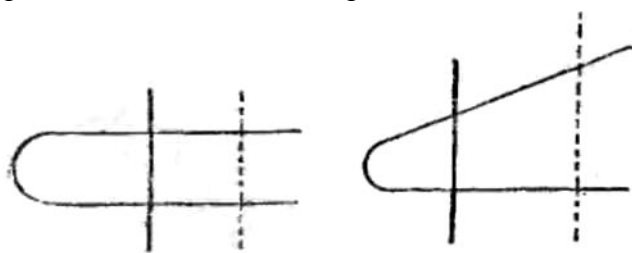
Вставив затем в это выражение вместо C величину, исчисленную на основе закона Ампера, Нейман получает для J выражение, которое имеет силу для всех случаев индукции и из которого могут быть выведены частные значения для отдельных случаев, конечно, после довольно длинных и сложных математических выкладок. Прежде всего, он рассматривает случай, когда *индукция вызывается только движением проводника*, и, следовательно, индуцирующий ток остается в покое; *противоположный случай*, когда проводник остается в покое, а цепь тока движется, равно как случаи, когда *они движутся*, он сводит к *первому* случаю. Последний же случай, когда *индукция происходит вследствие изменения интенсивности индуцирующего тока*, оказывается труднее и требует уже допущения, что действие остается одинаковым, возбуждается ли индуцирующий ток внезапно в цепи, или же он внезапно переносится из далекого расстояния в его последнее положение, или, выражаясь общее, — допущения, что изменение интенсивности инду-

170 ЗАКОН ВЕБЕРА И ТЕОРИЯ НЕЙМАНА

цирующего тока производит совершенно такое же действие, как если бы изменялось его расстояние от проводника. Но тогда можно еще общее доказать, что все изменения тока, вызывающие в проводнике индукцию, имеют равнозначную причину и определенную меру в *изменение величины потенциала* индуцирующего тока по отношению к проводнику в начале и конце индукции. Затем, во второй из приведенных выше работ Нейман формулирует свой общий *закон потенциала* в следующих ясных выражениях: «Если замкнутый и неразветвленный проводник A_I , переходит путем какого-либо изменения своих элементов, но с сохранением проводящих связей, в другой проводник A_{II} иной формы и положения, и если это изменение из A_I в A_{II} происходит под влиянием электрической системы тока B_I , которая одновременно в силу произвольного смещения своих элементов изменяет свое положение, форму и интенсивность и переходит из B_I в B_{II} , то сумма электродвижущих сил, вызванных этими изменениями в проводнике, равна произведению постоянной индукции ϵ на разность потенциалов тока B_{II} по отношению к A_{II} и тока B_I по отношению к A_I — в предположении, что через A_I и A_{II} протекает единица тока».

С этими-то выводами Неймана Вебер и должен был, прежде всего, согласовать свой общий закон элементарных электрических действий. Если последний был верен, то из него не только должны были вытекать все явления индукции, но следовало также доказать, что он находится в согласии с законами индукции других физиков, или же доказать, что последние неверны. *Такой вывод законов индукции Вебер* дал уже в первой своей работе и это обстоятельство, во всяком случае, являлось сильным доводом в пользу *правильности* самого закона. К сожалению, при сравнении этих результатов с неймановскими, выяснилось, что формулы обоих авторов, *совпадая* вполне для замкнутых токов, *дают противоречивые результаты для действия индуцирующего тока на незамкнутый проводник*. Вебер объяснил это противоречие тем обстоятельством, что Нейман обосновал свой закон на опытном положении Ленца (четвертое из вышеприведенных положений), выведенном из наблюдений над замкнутыми токами и неприменимом к незамкнутым токам.

Тогда и Нейман во второй из указанных выше работ провел это сравнение и подобно Веберу нашел, что для замкнутых токов их формулы действительно дают согласные результаты, а для индуцирующего тока *со скользящими местами*¹ — *противоположные*, т. е. противопо-



Черт. 4.

¹ *Скользящие места* образуются при перемещении подвижной части проводника по неподвижной (см. черт. 4), вызывающем увеличение цепи тока, однако без перерыва последнего. Это увеличение может происходить за счет увеличения одной только неподвижной части проводника или же за счет обеих частей.

ЗАКОН ВЕБЕРА И ТЕОРИЯ НЕЙМАНА 171

ложно направленные индуцированные токи, и что в данном случае только его формула подтверждается на опыте. Однако Нейман не сделал отсюда вывода о совершенной неправильности закона Вебера, а счел вероятным лишь неправильное применение его к данному случаю ¹. И действительно, вскоре после этого Вебер ² показал, что и при существовании в проводнике скользящих мест из его закона можно получить величины, согласные с формулой Неймана, если принять в расчет не только электродвижущие силы, вызываемые подвижной частью тока и элементами, вновь возникающими в точке скольжения, но также электродвижущие силы, возникающие вследствие изменения скорости движения электричества в местах скольжения. После этого Нейман охотно признал, что «Веберу действительно удалось счастливо разрешить данное затруднение», и вообще высказался очень благоприятно о законе Вебера. «Успех, — заявил он, — оказался блестящим. С одной стороны, из этого закона очень просто вытекает закон Ампера для действия двух элементов тока, с другой, — и установленный нами общий закон индукции» ³. После этого закон Вебера был большинством физиков признан, а в учебниках физики он стал применяться исключительно или преимущественно для математического вывода закона индукции. Лишь в последующий период, в течение 60-х и особенно 70-х годов, против основных предпосылок этого закона, а, следовательно, и против его состоятельности вообще были высказаны многочисленные и сильные возражения; но о последних мы будем говорить позднее.

Для количественного определения электродинамических действий и для проверки электродинамических законов до сих пор пользовались только проволочными прямоугольниками Ампера, представлявшими собою довольно неточные приборы. Вебер ввел усовершенствование и в эту часть измерительной техники, превратив бифилярный магнетометр в *электродинамометр*, допускавший достаточно тонкие и в то же время надежные измерения ⁴. Существенную часть этого прибора составляли две цилиндрические катушки с навитыми на них проволоками, из которых одна, неподвижная, была настолько велика, что другая могла в ней помещаться и свободно вращаться. Последняя подвешивалась бифилярно на двух серебряных нитях, придававших ей определенный момент вращения и одновременно служивших для подведения тока. Наблюдение отклонений производилось очень точно, при помощи зеркальца, прикрепленного к подвижной катушке. Начальное положение избиралось таким образом, чтобы плоскости обмоток обеих катушек были взаимно перпендикулярны. При помощи этого прибора Вебер получил возможность не только вновь подтвердить закон Ампера, который служил еще основой и для его собственного закона, но мог также совершенно точно проверить все последующие законы индукции.

¹ „Vorlesungen über elektr. Ströme“, стр. 305, Leipzig 1884.

² „Abhandl. d. K. Sachs. Gesell. d. Wissensch.“, I, Leipzig 1852.

³ „Vorles. über elektr. Ströme“, стр. 305 и 296.

⁴ „Abhandl. bei Begründung der K. Sachs. Gesellschaft“, стр. 211, 1846.

172 СИСТЕМА АБСОЛЮТНЫХ МЕР В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Столь же важным и плодотворным как для науки, так и для техники оказалось *введение в учение об электричестве системы абсолютных мер*. Техник впервые приобрел возможность сравнить полученные им электрические силы с примененными для этого механическими силами и правильно оценить первые. С другой стороны, в области науки возможность приведения всех явлений природы к трем механическим единицам — пространства, времени и массы — представляла собою новое доказательство в пользу внутреннего единства и механической природы всех естественных сил. Конечно, как раз для электрических сил такое приведение было *нелегкой задачей*. Понятие электрической массы, без которого нельзя было обойтись в учении об электричестве, никоим образом не укладывалось в круг механических представлений; оно могло быть сведено к абсолютной мере лишь косвенно, через посредство выраженной уже в абсолютной мере единицы силы, и тем самым по существу дела оно было исключено из математических выкладок.

В качестве единицы массы для магнетизма, а, следовательно, и для статического электричества, уже Гаусс предложил избрать такую массу, которая, действуя на равную ей массу на расстоянии, равном единице, дает единицу силы. Но для *интенсивности тока* такое определение было недостаточно, так как здесь появляется новый действующий фактор — *скорость*. Однако, поскольку в системе абсолютных мер единица скорости определяется как производная величина, то и сила гальванического тока могла быть легко сведена к абсолютным единицам. Таким образом, в качестве единицы силы тока следовало принять силу такого тока, «который возникает, когда через каждое поперечное сечение цепи в единицу времени проходит единица свободного положительного электричества в одном направлении и столько же отрицательного в противоположном»¹. Эту единицу тока В. Вебер назвал *механической*, определенно напомнив, что *абсолютные единицы мер сводят в идее все силы к механическим (т. е. к движущим) силам*. К этому он, однако, тотчас же добавил, что измерение силы тока в этой мере не может быть произведено *непосредственно*, так как нам неизвестны ни количество нейтральной электрической жидкости, содержащейся в кубической единице проводника, ни скорость перемещения электричества в обоих токах. Сила тока не может быть измерена прямо при помощи количеств электричества, а только по действиям их сил, и из этих действий вытекают *три относительные системы мер* для силы тока. Соответственно *химическому действию электролитической единицей силы тока* называют такую, которая в единицу времени разлагает единицу массы воды на ее составные части. Соответственно *магнитному действию магнитной единицей* силы тока называют силу такого тока, который, обтекая плоскость размером в единицу площади, действует на расстоянии совершенно так же, как магнит, обладающий единицей магнетизма, помещенный посередине той же плоскости, причем магнитная ось его направлена перпендику-

¹ „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 11, 1855.

СИСТЕМА АБСОЛЮТНЫХ МЕР В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 173

лярно к последней (т. е. сила тока, отклоняющего стрелку тангенс-буссоли с простым кольцом радиуса R на угол $\varphi = \arctg 2\pi/TR$, где T обозначает горизонтальную составляющую земного магнетизма). Наконец, соответственно *электродинамическому* действию *электродинамической единицы* силы тока называют силу такого тока, который протекает по двум параллельным элементам тока, перпендикулярным к соединяющей их линии, когда эти элементы, будучи расположены друг от друга на расстоянии, равном единице, производят друг на друга действие, относящееся к единице силы, как произведение $dsds'$ относится к единице поверхности.

Все эти единицы были указаны Вебером уже в его двух первых работах об электродинамических измерениях; там же были выведены и взаимные отношения этих единиц ¹. При этом оказалось, что магнитная единица в $\sqrt{2}$ раз больше электродинамической и в $106^{2/3}$ раза меньше электролитической. Затем в работе 1856 г. ² он переходит к установлению *отношения этих единиц к механической единице силы тока* с тем, чтобы, *таким образом, окончательно свести* силу тока к абсолютной мере. Для такого непосредственного сравнения с механической единицей Вебер избрал магнитную единицу тока. Задача сводилась, значит, к следующему. Если дан постоянный ток, отклоняющий стрелку тангенс-буссоли с простым мультипликационным кругом на угол $\varphi = \arctg 2\pi/RT$, то следует определить отношение количества электричества, протекающего при таком токе в одну секунду через сечение проводника, к количеству электричества на каждом из двух одинаково заряженных (бесконечно) малых шаров, которые, находясь друг от друга на расстоянии 1 мм, отталкиваются с силой, равной единице. Но величина первого отталкивания стрелки мультипликатора, по которому в землю отводится некоторое количество свободного электричества из изолированного проводника, зависит только от количества электричества и не зависит от продолжительности разряда; то же самое можно допустить относительно отклонения под влиянием постоянного тока очень малой продолжительности. Далее, следует иметь в виду, что три равенстве отклонений от разряда и от постоянного тока количество электричества одного рода, протекающее через поперечное сечение проводника в последнем случае, представляет лишь половину того количества, которое протекает при разряде, так как в токе одно и то же действие производится двумя противоположными электричествами. Поэтому, если на одной и той же тангенс-буссоли получается одно и то же отклонение от разряда измеренного количества статического электричества E и от тока силы (магнитной), равной единице, действовавшего в течение короткого промежутка τ , то

¹ „Abhandl. bei Begründung der K. S. Gesellschaft der Wissensch.“, 1846; „Abhandl., der K. S. Gesellschaft d. Wiss.“, 1852.

² „Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere Zurückführung auf mechanisches Maass“ von W. Weber und R. Kohlrausch, „Abhandl. der K. S. Gesellschaft“, V, стр. 219, 1857; см. также в извлечении в „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 10.

174 ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ЕДИНИЦАМИ СИЛЫ ТОКА

в последнем случае через сечение проводника в течение этого промежутка протекало количество электричества $E/2$, а в единицу времени $E/2\tau$.

Таким образом, последнее число дает то количество механических единиц силы тока, которое равно магнитной единице силы. Из целого ряда тщательных опытов, давших в силу самой природы вещей, значительно расходящиеся результаты, Вебер и Кольрауш получили для этой величины следующие числа:

Номер ряда опытов	$\frac{E}{2\tau}$	Номер ряда опытов	$\frac{E}{2\tau}$
1	$151\,000 \cdot 10^6$	4	$149\,800 \cdot 10^6$
2	$161\,300 \cdot 10^6$	5	$156\,250 \cdot 10^6$
3	$158\,500 \cdot 10^6$		

Итак, механическая единица относится к магнитной, в среднем, как $1:155\,370 \cdot 10^6$, а в силу сказанного выше:

к электродинамической, как $1:109\,860 \cdot 10^6$

и к электролитической, как $1:16\,573 \cdot 10^6$.

Этим выводом Вебер воспользовался, прежде всего, для того, чтобы определить постоянную c в своем основном электродинамическом законе

$$W = \frac{ee'}{rr} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\left[\frac{dr}{dt} \right]^2 - 2r \frac{d^2r}{dt^2} \right) \right].$$

В своей второй работе об электродинамических измерениях Вебер доказал, что эта постоянная относится к 4, как электродинамическая единица меры к механической; поэтому из только что определенного отношения между последними он получил для c величину $439\,440 \cdot 10^6$ мм или 59 320 миль. Из формулы легко усмотреть, что это число представляет постоянную относительную скорость, при которой электрические массы совершенно перестают действовать друг на друга. Поэтому Вебер особо отмечает, что при этой величине, постоянной c , электродинамическая часть

$$\frac{ee'}{rr} \cdot \frac{1}{c^2} \left(\left[\frac{dr}{dt} \right]^2 - 2r \frac{d^2r}{dt^2} \right)$$

взаимодействия двух электрических частиц всегда должна исчезать по сравнению с электростатической частью ee'/rr , если, как это имеет место в гальваническом токе, электростатические силы не уничтожаются в результате нейтрализации положительного и отрицательного электричества. Работа Вебера 1856 г. была заключительным актом в деле введения абсолютных мер в учение об электричестве. Единицы электродвижу-

щих сил и сопротивлений Вебер выразил в относительных единицах еще в своей работе 1852 г.¹; с помощью же механической меры силы тока он теперь получил возможность свести к той же мере и упомянутые две единицы. С помощью абсолютной меры магнетизма Вебер в качестве *абсолютной единицы электродвижущей силы* определил такую силу, которая возбуждается единицею магнитной силы в круговом проводнике единицы площади, когда последний в течение секунды поворачивается из положения, параллельного направлению магнитной силы, в положение, к нему перпендикулярное. Соответственно этому определению единица электродвижущей силы могла быть прямо измерена. Вебер устроил для этой цели особый прибор, названный им *земным индуктором*, так как в качестве индуцирующего магнетизма у него служил земной магнетизм.

После того как была найдена абсолютная мера для силы тока и для электродвижущей силы, абсолютная мера *сопротивления* могла быть уже легко определена по формуле $W=E/J$, вытекающей из закона Ома. Следовательно, *абсолютной единицей сопротивления* являлась такая величина последнего, при которой в цепи с единицей электродвижущей силы получалась единица силы тока. Эти *измерения сопротивлений* приобрели впоследствии особое значение не только в связи с непосредственным применением их ко многим теоретическим и практическим проблемам, но и косвенно для определения электродвижущей силы. В самом деле, в соответствии с характером избранной для последней единицы, *прямое* измерение электродвижущей силы было возможно только для индукционных толчков, вызываемых механической силой; для всех же прочих случаев возникновения электродвижущей силы непосредственное применение этой единицы было невозможно. Наоборот, для определения сопротивлений в абсолютной мере достаточно было только измерения этой мерою *одного* какого-либо известного сопротивления, все же остальные определялись тогда в абсолютных единицах путем сравнения с последним. Итак, если однажды было определено в абсолютной мере *нормальное сопротивление*, последнее уже служило непосредственной мерой для сопротивлений в отдельных случаях, а затем формула Ома $E=J \cdot W$ могла быть применена и для *определения электродвижущей силы* в абсолютных единицах. Таким образом, *наиболее точное определение нормального сопротивления, или общепризнанной единицы сопротивления, стало основной проблемой измерительной техники в области электричества*. Предложенная Вебером абсолютная единица сопротивления соответствовала по своему смыслу *скорости* и была одной размерности с последнею; в соответствии с избранными единицами длины и времени она была обозначена мм/сек^2 . Методы приведения любых сопротивлений

¹ „Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere Widerstandsmessungen“, „Abhandl. der K.Sachs. Gesellschaft“, 1, стр. 197, 1852; „Pogg. Ann.“, LXXXII, стр. 337.

² Вебер, подобно Гауссу, принимал в качестве абсолютных мер длины времени и массы миллиметр, секунду и миллиграмм.

176 ЕДИНИЦА СОПРОТИВЛЕНИЯ

к этой единице Вебер подробно описал в своей работе 1852 г., где он привел и несколько примеров такого приведения. В 1846 г. Якоби, разослав физикам медную проволоку $7619^{3/4}$ мм длиной, $^{2/3}$ мм диаметра в сечении и $22\,449^{3/10}$ мг веса, предложил принять ее в качестве *нормальной единицы сопротивления*¹. Вебер определил это сопротивление в абсолютной мере и нашел его равным $598 \cdot 10^7$ мм/сек². Этот эталон был долгое время в употреблении, но мало-помалу выяснилось, что его сопротивление *отнюдь не постоянно* и что, следовательно, в качестве нормальной единицы он не пригоден. Поэтому в 1860 г.³ В. Сименс предложил принять в качестве единицы сопротивления призматического столба ртути в 1 м длиной и 1 мм² сечения при нуле градусов. В работе 1861 г. Вебер определил абсолютную величину этой единицы и нашел ее равной 10 257 000 м/сек. Наконец, в 1861 г.⁴ этот вопрос вступил в новую стадию благодаря тому, что Британская ассоциация и Лондонское королевское общество назначили для разработки этого вопроса специальную комиссию с У. Томсоном во главе. Эта комиссия в принципе рекомендовала принять абсолютную единицу сопротивления Вебера, но для более удобного применения на практике предложила увеличить ее в 10^7 раз⁵. Однако работы комиссии и дискуссии по поводу ее предложения затянулись настолько, что окончательное соглашение по этому вопросу последовало лишь двадцать лет спустя на Парижском конгрессе электриков 1881 г. Конгресс тоже принял абсолютную систему мер Вебера, но только вместо миллиметра, секунды и миллиграмма в качестве основных единиц им были приняты сантиметр, секунда и грамм, а в качестве абсолютной единицы сопротивления была принята величина, равная 10^9 см/сек. Для того чтобы при этих единицах оставить в силе закон Ома, пришлось увеличить в 10^8 раз веберовскую единицу электродвижущей силы и уменьшить в 10 раз его единицу силы тока. Определенные таким образом единицы, к которым прибавили еще единицы количества электричества и емкости, назвали, в честь соответствующих ученых, *ом, вольт, ампер, кулон и фарада*. К сожалению, имя Вебера, действительного основоположника всей этой системы мер, осталось при этом в стороне; это получилось по чисто внешней причине, так как словом «вебер» уже ранее была названа другая единица⁶.

¹ „Comptes rendus“, XXXIII. стр. 277.

² „Pogg. Ann.“, LXXXII, стр. 358.

³ Там же, CX, стр. 1.

⁴ „Abhandl. der K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen“, X, стр. 1, 1862.

⁵ Ф. Кольрауш в 1870 г. произвел („Pogg. Ann.“, дополнительный том VI, стр. 1, 1874) в лаборатории В. Вебера новое определение предложенных единиц в абсолютной мере. Он нашел единицу Сименса равной 9 717 000 000 мм/сек или 0,9717 земн. квадрант/сек. Единица Британской ассоциации, определенная в 1864 г. в 1,0493 единиц Сименса, была, следовательно, равна 1,0196 земн. квадрант/сек. и оказалась, таким образом, почти на 2% больше предположенной величины. Кольрауш высказал предположение, что в измерение Британской ассоциации могла вкратиться ошибка, вызванная индукционными токами в массивном латунном штативе, поддерживавшем вращающуюся катушку.

⁶ Ф. Дженкин приводит („Pogg. Ann.“, CXXVI, стр. 369) следующие данные об эволюции измерения сопротивлений. Дэви в 1821 г. доказал („Phil. Trans.“, стр. 425, 1821), что проводимость металлов различна и изменяется с температу-

СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 177

Следует еще упомянуть о нескольких отдельных явлениях этого периода, находящихся в меньшей связи с общим ходом научного развития.

Уокер ¹, Митчель ² и Гульд ³, каждый в отдельности, измерили в 1848 г. скорость электричества в телеграфных проводах и получили очень расходящиеся между собою, но, во всяком случае, *значительно меньшие числа, чем Уитстон*, а именно 25 000, 45 000 и 25 000 км в секунду. Наоборот, Физо и Гунелль ⁴, произведя соответствующие измерения над телеграфными проводами между Парижем и Руаном, «снова получили значительные величины; а именно, на железном проводе с 7-мм диаметром — 101 710 км, а на медном с 2,5-мм диаметром 177 722 км. Значительное колебание результатов отдельных опытов Физо ⁵ был склонен приписать только многочисленности источников ошибок при этих измерениях; Гогэн ⁶ же полагал, что *продолжительность распространения электричества действительно не постоянна*, а зависит от многих условий и что она может быть приравнена Cl^2/kw , где C обозначает некоторый коэффициент заряжения, l — длину провода, k — проводимость и w — сечение провода. К совершенно таким же выводам пришел в новейшее время Гагенбах ⁷. Он указал на то обстоятельство, что при всех подобных измерениях наблюдается не скорость *стационарного течения*, а только *скорость заряжения*;

рою. В начале 20-х годов исследования по вопросу о проводимости опубликовали также Кэмминг, Сноу Гаррис и Беккерель. Обратное понятие сопротивления было введено Омом в 1827 г.; им же было введено понятие „приведенной длины“, которое применялось долгое время при измерении сопротивлений. Ленц в 1838 г. принял („Pogg. Ann.“, XLV, стр. 105) у себя о качестве нормального сопротивления медную проволоку (№ 11) в 1 фут длины; согласно его сообщению последнее в 19,9 раз превышало то сопротивление, которое он применял в 1833 г. („Pogg. Ann.“ XXXIV, стр. 418). Уитстон в 1843 г. предложил („Phil. Trans.“, стр. 303, 1843) применять в качестве нормального эталона медную проволоку в 1 фут длиною и 100 гран веса. Ганкель в 1846 г. применил для той же цели („Pogg. Ann.“, LXIX, стр. 255) железную проволоку. Д. Б. Кук в 1847 г. („Philosophical Magazine“ (3), XXX, стр. 385) упоминает о проволоке, которая по своим размерам и проводимости годилась бы в качестве нормального сопротивления. Буфф („Pogg. Ann.“, LXXIII, стр. 497) и Горсфорд („Silliman's Journal“, V, стр. 86) применяли в качестве эталонов проволоки из нейзильбера, пока в общее употребление не вошел эталон Якоби. С 1850 г. потребность в точных измерениях сопротивлений была вызвана техникой подземных и подводных кабелей, так как этим путем можно было на расстоянии находить место повреждения провода. В Англии с этой целью уже с 1847 г. стали применять катушки сопротивлений Кука, устроенные, по-видимому, на основе единиц Уитстона. В это же время Варлей описал грубый метод определения места порчи путем измерения сопротивления. В. Сименс предложил аналогичный, но более совершенный метод („Pogg. Ann.“, LXXIX, стр. 481); в 1852 г. Чарльз Брайт получил патент на подобные определения.

¹ „Silliman's Journal“. VIII, стр. 142, 1848.

² „Pogg. Ann.“, LXXX, стр. 161.

³ Там же. дополнительный том III, стр. 374.

⁴ „Comptes rendus“, XXX, стр. 437; „Pogg. Ann.“, LXXX, стр. 158.

⁵ „Comptes rendus“, XXXII, стр. 47.

⁶ Там же, L, стр. 395.

⁷ „Verhandl. d. naturf. Gesellschaft in Basel“, VIII, стр. 165, 1886.

178 РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В ПУСТОТЕ

на основании своих собственных опытов он нашел, что *время заряжения, правда, не зависит от абсолютной величины потенциала заряда, но для различных проволок с одинаковыми относительными пограничными условиями оно изменяется пропорционально квадрату длины проволоки, емкости единицы и сопротивлению единицы и что, следовательно, с удлинением провода скорость распространения электричества убывает в квадратном отношении*. С этим мнением вполне согласуется факт соединения *незначительной скорости распространения электричества в морских подводных кабелях* (определенной, например, между Лондоном и Брюсселем всего в 4300 км), — с *резкими явлениями их заряжения*, которые многократно наблюдали и отметили Уитстон, Фарадей и Сименс.

Упомянутые уже нами раньше исследования Фарадея ¹ над явлениями *разряда электричеств* и наблюдаемая им *зависимость их от среды*, в которой эти разряды происходят, привлекли внимание физиков к вопросу о *проводимости газов и распространении электричества в пустоте*. В 1835 г. А. Массону ² удалось пропустить ток сильной катушки Румкорфа через торичеллиеву пустоту; последняя при этом заполнилась бледным фосфоресцирующим светом. Однако по этому поводу тотчас же отметили, что вакуум здесь был неполный, и указали, что и в данном случае явления разряда в большой степени зависели от остатков разреженного воздуха и от присутствия ртутных паров. После этого Д. П. Гассиот ³ с целью наблюдения этих интересных явлений устроил стеклянные трубки с выкачанным до немногих миллиметров давления воздухом, которые можно было наполнять другими сильно разреженными газами. Несколько лет спустя подобные трубки стали изготавливать Гейсслер в Бонне и притом настолько высокого качества, что они с тех пор стали носить его имя ⁴. Эти приборы возбудили очень большой интерес во всех слоях и вызвали до начала шестидесятых годов множество исследований над электрическими разрядами в пустоте. Однако, во всяком случае, в тот период они еще не вполне оправдали связанные с ними ожидания и оказались скорее интересными приборами для развлечения, чем для научных целей, и орудиями для привлечения скорее друзей науки, чем исследователей. Кроме *мерцающего света* на катоде, наблюдавшегося еще Фарадеем, и *слоистого света* на аноде, с помощью которого тщетно пытались найти доказательства в пользу волнообразного движения, или по крайней мере интерференции электричества, а также кроме давно известного *влияния на этот свет магнита*, эти трубки не давали ничего особенного. Серьезное научное значение они приобрели лишь

¹ См. первый выпуск настоящей части, стр. 272.

² „Comptes rendus“, XXXVI, стр. 258. А. Ph. Masson (1806—1860) — профессор в Париже.

³ „Rep. of the Brit. Assoc.“, 1854, Trans. of the sect., стр. 68.

⁴ Плюкер, предложивший применять это название („Pogg. Ann.“, СIII, стр. 88. 1858), говорит „Я вполне обоснованно называю их (трубки) его (Гейсслера) именем, хотя первые трубки были изготовлены не им“. — Heinrich Geissler (1814—1879) — стеклодув из Тюрингии, впоследствии владелец мастерской химических и физических приборов в Бонне.

в течение последующего периода и особенно в самые последние годы. Для этих опытов, при наличии больших сопротивлений в трубках, могли применяться лишь *разряды лейденских банок* или *индукционные токи высокого напряжения*. После изобретения вагнеровского молоточка последние стали гораздо удобнее, и индукционные аппараты подобной конструкции уже давно были в ходу. Так, общеизвестный санный (так в оригинале, прим. копировщика) аппарат, употребляемый и до сих пор в своем первоначальном виде, был устроен дю-Буа-Реймоном еще до 1849 г.¹ Румкорф же начал изготавливать свои сильные катушки в 1850 г.; в 1864 г. он получил за них наполеоновскую премию в 50 000 фр.

Приведенные исследования очень мало повлияли на *теорию естественных разрядов атмосферного электричества*, и отмеченные Араго *линейные, плоские и шарообразные формы молнии* оставались по-прежнему необъясненными. Впрочем, Т. де-Монсель² попытался в своей «*Théorie des éclairs*» («Теория молний») найти для них аналогии в искусственных электрических разрядах. По его мнению, длина молний, а также отклонение их от прямолинейной формы являются результатом действия дождя и сгущенного водяного пара, служащих для них вторичным проводником. Если лакированную поверхность покрыть тонким слоем воды, то проскакивающая по ней искра индукционной катушки окрашивается в некоторый цвет, который зависит от толщины водяного слоя. Но при большей толщине последнего искра чаще заканчивается красным шаром, что соответствует шаровидной молнии. В 1859 г. Тессан³ дал другое объяснение этой форме молнии, которое, однако, представлялось маловероятным. Каждая шаровидная молния представляет собою, по его мнению, подобие лейденской банки. Изолятором последней служит шарообразный слой воздуха, сжимаемый изнутри и снаружи притяжением электричества. Вследствие непрерывного истечения электричества с поверхности этот шар светится, а вследствие большего или меньшего сжатия внутри воздуха он сравнительно медленно опускается или поднимается в атмосфере.

Наблюдениями над *грозовым* и вообще *атмосферным электричеством* занималось все больше исследователей. Г. Шюблер⁴ еще в предшествующий период наблюдал как дневной, так и *годовой периоды* нормального атмосферного электричества, а также установил зависимость грозового электричества от направления ветра. Делльман усовершенствовал приборы для наблюдений и производил последние все с большей точностью. Однако теория атмосферного электричества все-таки не сделала успехов — происхождение этого электричества, несмотря на обилие уверенных утверждений по этому вопросу, оставалось

¹ Свои капитальные работы о животном электричестве (которых мы здесь касаться не можем) дю-Буа-Реймон опубликовал в 1843 г. в диссертации; с 1845 г. он их помещал в „*Fortschritten der Physik*“, а с 1848 г. изложил в своей главной работе „*Untersuchungen über die thierische Elektrizität*“ 2 тома, Berlin 1848 и 1849. Emile-Heinrich du Bois-Reymond (1818—1896) — профессор физиологии в Берлине.

² „*L'Institut*“, стр. 47, 1854.

³ „*Comptes rendus*“, XLIX, стр. 189.

⁴ „*Grundsätze der Meteorologie*“, Leipzig 1831.— G. Schübler (1787—1834)— профессор ботаники в Тюбингене.

180 ЗЕМНОЙ МАГНЕТИЗМ

все же невыясненным. С начала этого столетия вслед за Соссюром и Вольтовой *его источник* искали в *процессе испарения воды*, полагая, что образовавшийся пар при этом оказывается наэлектризованным положительно, а остающаяся вода — отрицательно. Пуллье ¹ уточнил эту теорию, утверждая, что чистая вода при испарении не дает электричества, а дает его лишь в присутствии примесей, причем она наэлектризовывается отрицательно при наличии солей и кислот и положительно — при наличии щелочей. Пельтье оспаривал и это мнение, утверждая, что электричество может возникнуть лишь при быстром толчкообразном кипении воды в конце опыта Лейденфроста. Ф. Рейх ² нашел и это объяснение неправильным, утверждая, что без особых причин электричество никогда не возникает ни при испарении, ни при сгущении воды. Наконец, в 1846 г. П. Рисс прямо заявил: «*Причина атмосферного электричества еще не выяснена*»; если оно наблюдается при испарении воды, то оно происходит только вследствие трения частичек жидкости о стенки сосуда ³. Беккерель ⁴ попытался подойти к этой проблеме с более широкой точки зрения. По его мнению, электрическое равновесие нарушается при всех молекулярных изменениях веществ, поэтому атмосферное электричество может иметь самые разнообразные источники своего происхождения. К числу подобных источников атмосферного электричества он относит: 1) истечение кислорода и угольной кислоты из листьев растений; 2.) соприкосновение воды с сушей; 3) разложение органических веществ; 4) соприкосновение теплых и холодных вод. Этим объясняется относительно редкое появление грозы у полюсов, посредине морей и больших материков. По этому поводу обозреватель журнала «Fortschritte der Physik» отметил, что указанными источниками объясняется, может быть, атмосферное электричество, но никак не грозовое электричество, возникающее внезапно и столь сильно зависящее от ветров.

Подобную же судьбу, как атмосферное электричество, испытал и *земной магнетизм*. Раньше земной магнетизм считали *естественным состоянием земли*, не требующим каких-либо дальнейших объяснений. Однако после того как наблюдения «Магнитного союза» и точные измерения магнитных постоянных в различных местах и в разное время с несомненностью доказали существование *периодических и аperiodических изменений* этого состояния, пришлось сделать попытку *свести и земной магнетизм к более отдаленным изменчивым причинам и привести его в более тесную связь, чем это было до сих пор, с другими силами природы*. Проще всего представлялось, конечно, объяснить магнетизм земли, подобно магнетизму всякого другого тела, *электрическими токами*; а последние даже поставили в связь с разностью температур на земле, как только было открыто термоэлектричество. Теперь же надеялись при помощи проведенных повсюду телеграфных

¹ „Ann. de chim. et de phys." (2), XXXV. стр. 401, 1827.

² „Abhndl. bei Begründung der K. S. Gesellsch.", стр. 197, 1846.

³ „Pogg. Ann.", LXIX. стр. 286, 1846.

⁴ „Comptes rendus", XIII, стр. 1101, 1856.

МАГНЕТИЗМ И МОЛЕКУЛЯРНОЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ 181

проводов непосредственно наблюдать, эти токи; и, действительно, У. Барлоу¹, равно как и другие физики, при опытах с телеграфными проводами, не находившимися в эксплуатации, установили, что по проводам, погруженным обоими концами в землю, всегда проходят токи, что эти токи появляются одновременно и в равном количестве на обеих станциях, что эти токи имеют своим источником не атмосферу, а землю, и что сила их проявляет колебания как регулярные, так и нерегулярные. Однако и для этих токов опять пришлось искать ближайшую причину, поэтому внимание было все-таки больше сосредоточено на тщательном изучении фактического состояния земного магнетизма на земле, чем на причинах последнего. Ганстен в 1855 г. попытался² еще раз в противовес данному Гауссом распределению магнетизма на земле провести свою ранее предложенную гипотезу о *четырех магнитных полюсах* земли, но опять не имел успеха. Ламонт в 1851 г.³ вывел из мюнхенских наблюдений *период колебания магнитных склонений приблизительно в 10,3 года*. Р. Вольф⁴ по этому поводу в 1852 г. указал, что период магнитных колебаний совпадает с *периодом солнечных пятен*, но что этот последний составляет 11,1 лет. Некоторые другие физики указали на *влияние луны* на постоянные земного магнетизма, и эти наблюдения были тоже многократно подтверждены. Во всяком случае, из этих утверждений как будто вытекало, что солнце, луна, а может быть, и другие светила влияют на магнитные явления нашей земли, вследствие чего последние уже нельзя объяснять одними лишь тепловыми действиями. После работ Ампера *магнетизм* мало привлекал к себе внимание физиков. Подобно тому, как естественный магнит все больше вытеснялся электромагнитом, так и учение о магнетизме, естественно, должно было все больше влиться в теорию электромагнетизма. Но так как магнетизм все-таки обычно связывали с особым молекулярным состоянием материи, то исследователи попытались в свою очередь *вызвать подобные молекулярные изменения при помощи магнетизма*. Р. Гонт в 1846 г.⁵ сообщил о своем наблюдении, что под влиянием магнитного полюса соли «выкристаллизовываются из растворов по правильным кривым. Около этого же времени Джоуль⁶ наблюдал *удлинение* железных стержней при намагничивании их электрическим током — удлинение это зависело лишь от длины стержня к напряженности магнетизма и не сопровождалось заметным увеличением толщины стержня. В. Вертгейм⁷ в 1852 г. установил, что намагниченный до насыщения железный прут *размагничивается* в тот момент, когда он подвергается временному кручению, и *снова приобретает магнетизм* в момент рас-

¹ „Phil. Trans.“, стр. 61, 1849.

² „Astronomische Nachrichten“, XL, стр. 169, 1855. — Christopher Hansteen (1784—1873) — директор обсерватории в Христиании.

³ „Pogg. Ann.“, LXXXIV, стр. 572. — Joh. Lamont (1805—1879) — директор Богенгаузеновской обсерватории около Мюнхена.

⁴ „Comptes rendus“, XXXV, стр. 704.

⁵ „Philosophical Magazine“ (3), XXVIII, стр. 1, 1846.

⁶ Там же, XXX, стр. 76.

⁷ „Comptes rendus“, XXXV, стр. 702: „Pogg. Ann.“, LXXXVIII, стр. 331.

182 ТЕОРИЯ МАГНЕТИЗМА

кручения. Три года спустя ¹ он занялся этим явлением более подробно и нашел, что кручение и раскручивание сами по себе не намагничивают мягкого железа, но во время процесса намагничивания они, подобно всякому механическому встряхиванию, содействуют намагничиванию. Насыщенный же магнетизм от кручения ослабевает, а при раскручивании снова восстанавливается. Более твердые сорта железа дают результаты, отличающиеся от указанных лишь в количественном отношении. Для объяснения этих явлений прежние теории представлялись недостаточными. Вертгейм сделал допущение, что *магнетизм заключается в эфирных колебаниях атмосфер молекул, которые всегда существуют в ненамагниченном железе* и при намагничивании приобретают лишь полярность. *Размагничивающая сила* представляет собою, следовательно, *косность эфира*, противодействующего поляризации. Если, далее, принять, что весомые частицы при своем вращении увлекают за собою колебания эфира, то первоначально одинаково направленные колебания при кручении частично расстраиваются, а при раскручивании снова возвращаются в прежнее положение. Аналогичными молекулярными движениями Вертгейм объясняет и *колебания земного магнетизма*. После Вертгейма опытами, касающимися *связи между магнетизмом и изменением положения молекул*, занимался Г. Видеман ², хотя последний и не углублялся в молекулярную теорию в такой степени, как его предшественник. Согласно его опытам магнитный стержень, намагниченный гальваническим током и затем размагниченный током противоположного направления, от простого сотрясения снова становится магнитным. Подобно тому, как кручение влияет на магнитность, так и, обратно, магнетизм влияет на кручение. Если железную проволоку закручивать во время или после прохождения гальванического тока, то она намагничивается и во время закручивания действует индуктивно на соседний провод. Подобно кручению действуют также изгибание, изменение температуры стержней и т. д.

Соотношение между магнетизмом и внутренними движениями в телах было особенно интересно для физиков, так как представлялось, что его можно объяснить, только исходя из допущения, что железо и сталь составлены из молекулярных магнитов, а это было чрезвычайно важно для атомистики ³. Беетц в своей работе «Über die innige

¹ „Comptes rendus“, XL, стр. 1234; „Pogg. Ann.“, XCVI, стр. 171.

² „Über den Magnetismus der Stahlstäbe“, „Pogg. Ann.“, C, стр. 235; „Beziehungen zwischen Magnetismus, Wärme und Torsion“, там же CIII, стр. 563; „Über die Torsion und die Beziehungen derselben zum Magnetismus“, там же, CVI, стр. 161; „Über die Biegung“, там же, CVII, стр. 439; „Beziehung zwischen Torsion und Magnetismus“, там же CVII, стр. 439; „Einfluss der Temperaturveränderungen auf den Magnetismus“, там же, CXXII, стр. 346; „Inductionsströme beim Tordiren von Eisendrähten“, там же, CXXIX, стр. 616. См. также „Die Lehre von der Elektrizität“, III, стр. 666, Braunschweig 1883.—Gustav-Heinrich Wiedemann (1826—1898)

с 1854 г. профессор физики в Базеле, с 1863 г. — в Брауншвейге, с 1866 г. — в Карлсруэ, с 1871 г. — профессор физической химии, а затем — физики в Лейпциге.

³ Поэтому и Фехнер в своем „Atomenlehre“, стр. 41 (Leipzig 1864), ссылается на опыты Видемана как на довод в пользу атомистики.

Vorgänge, welche die Magnetisirung bedingen» («О внутренних процессах, обуславливающих намагничивание») ¹ исходит из положения Б. Вебера ², согласно которому молекулярные изменения, которые должны происходить в железе и стали при переходе их в магнитное состояние, могут быть объяснены следующими четырьмя допущениями: 1) существованием двух магнитных жидкостей, которые обладают подвижностью независимо от своих весовых носителей (Кулон и Пуассон); 2) существованием двух магнитных жидкостей, которые могут двигаться лишь совместно с молекулами весового вещества; 3) существованием непрерывных молекулярных токов, образуемых двумя электрическими жидкостями и способных вращаться вместе с молекулами (Ампер); 4) существованием двух подвижных электрических жидкостей, способных двигаться без сопротивления по особым путям вокруг покоящихся молекул. Вебер принял последнюю гипотезу, при этом, однако, он признал, что опыт скорее говорит в пользу вращающихся молекул. Бетц же исключил все гипотезы, исходящие из идеи о неисчерпаемом количестве электрических или магнитных жидкостей, так как опыты вполне определенно показали, что отношение m/p между интенсивностью магнетизма m и магнетизирующею силою p отнюдь не постоянно, хотя и приближается к известному пределу. Соответственно этому из приведенных гипотез он оставляет только две, согласно которым электрические или магнитные жидкости, которые своим разделением обуславливают намагничивание, имеются только в ограниченном количестве, или согласно которым намагничивание происходит только вследствие вращения молекул, которые следует рассматривать как молекулярные магниты, в силу ли постоянного разъединения жидкостей или вследствие обтекания их молекулярными токами. Опыты Видемана он считал уже достаточными для разрешения вопроса в пользу последней гипотезы. В качестве дальнейшего доказательства он приводит произведенный им опыт электролитического выделения железа в связанной форме из раствора по методу Р. Беттгера между ветвями магнита; при этом он получил пластинки железа, твердые, как стекло, и столь сильно намагниченные, что при всех последующих размагничиваниях и намагничиваниях они проявляли резко выраженную склонность к сохранению своей первоначальной магнитности. Это явление, которое можно сравнить с *упругим последствием* и которое было отмечено также Видеманом, требовало, по его мнению, *принятия гипотезы о вращении молекул при намагничивании, а, следовательно, и допущения молекулярных магнитов.*

¹ „Pogg. Ann.", CXI, стр. 107, 1860. — Wilh. Beetz (1822—1886) — профессор физики в Мюнхенском политехникуме.

² „Elektrodyn. Maassbest., insbes. über Diamagnetismus", „Abhandl. d. K. S. Gesellsch. d. Wissensch.", I, стр. 541, 1852.

ЧЕТВЕРТЫЙ ПЕРИОД ФИЗИКИ В ПОСЛЕДНЕМ СТОЛЕТИИ

(приблизительно от 1860 по 1880 г.)

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

С начала нашего столетия вплоть до настоящего времени в физике все больше и больше приближались к *дуалистическому воззрению на материю*, противопоставляя *весомой материи* единое невесомое вещество, *эфир*, вместо многочисленных прежних невесомых. С этим дуализмом материи был связан и *дуализм силы*. Для *весомой материи* сохранили по-прежнему допущение элементарной *первичной силы*, действующей непосредственно на расстоянии притягательно или отталкивательно; многообразные же действия эфира, при невозможности присвоить последнему соответственно большое число первичных сил, пришлось объяснять особыми *движениями*. Однако дуализм материи совершенно отличен от дуализма сил. Если на различные виды материи смотреть не как на *абсолютно* элементарные виды, то и при допущении некоторой однородной *первичной материи*, всегда наиболее доступной для нашего понимания, все-таки представляется возможным существование *относительно* элементарных материй, различающихся по обоим внутренним движениям и строению. *И действительно, в новейшее время большинство физиков оставило по меньшей мере открытым вопрос о конечном тождестве двух основных видов материи и неоднократно сводило различие между весомой материей и эфиром только к большему внутреннему движению и обусловленной этим большей делимостью последнего.* С точки зрения такого воззрения дуализм силы представляет собою абсолютное противоречие. Ведь если две основные формы материи по существу тождественны и отличаются друг от друга лишь по степени движения, то допущение существования у одной из них первичной силы как основного ее свойства, при полном отсутствии такого же свойства у другой, представляется совершенно невероятным. Вполне сознавая значение этого противоречия, физики постоянно стремились *устранить* этот дуализм сил, стараясь заменить его унитарным воззрением; к осуществлению этой цели шли *три* путями.

Физики-математики, опирающиеся на *Ньютона*, и *физики-философы*, опирающиеся на метафизику *Канта*, утверждают, что последняя причина всякого действия силы заключается в первич-

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ 185

ных притягательных и отталкивательных свойствах материи и что все движения эфира тоже должны быть сведены к таким же свойствам. Однако такое допущение, если его рассмотреть в полном его теоретико-познавательном смысле, несовместимо с *философией Канта*, так как согласно этой философской системе конечными причинами никогда не могут быть *феномены*, а лишь *ноумены*. Конечные причины, как ничем не обусловленные, принадлежат к области *свободы* и не подпадают под действие естественнонаучной *необходимости*. Делая подобное допущение, натуралист выходит за пределы своей области.

Другая, и в настоящее время очень многочисленная, группа физиков пыталась поддержать *единство воззрения на силы* тем, что, не входя вообще в более детальное рассмотрение присущих материи дееспособностей, она рассмотрела и определила только вид и величину ее работоспособностей. Путь к такому сужению пределов исследования легко проложил *закон сохранения силы*. Уже самими основоположниками этого закона было отмечено, что он может быть отнесен не к последним причинам явлений, к первичным силам как неизменным свойствам материи, а только к ограниченным работоспособностям, свойственным телу в силу его положения и движения. Для того чтобы резче оттенить эту точку зрения, и самое выражение *сила*, в смысле ограниченной работоспособности, было вскоре совершенно оставлено и заменено термином *энергия*. В провозглашении закона сохранения энергии как всеобщего начала естествознания рассчитывали найти средство обойти трудности, связанные с понятиями *силы* и *материи*. И действительно, после того как были установлены полная превратимость всех видов энергии друг в друга и неизменность количества ее при всех таких превращениях, ближайшее рассмотрение происходящих в материи процессов, недоступных для наблюдения переходов движений с масс на внутренние части последних, представлялось ненужным. Коль скоро однажды был установлен вид перехода одной формы энергии в другую и определено количественное отношение между обеими этими формами, то на основании этого закона уже легко по количеству преобразующейся энергии исчислить количество вновь образовавшейся. Благодаря этому количественное изучение естественных явлений стало независимым от рассмотрения внутренних процессов в материи; и даже там, где последние были совершенно неизвестны, закон сохранения энергии представлял вполне надежный *мост* для перехода от одного непосредственно наблюдаемого явления к другому. *В этом обстоятельстве заключается громадное значение этого начала, его мощное и весьма плодотворное влияние на все естествознание.*

Однако и это воззрение на явления природы не было свободно от трудностей, которые, конечно, сказывались не столько при применении, сколько при обосновании основного принципа. Сколько бы ни старались сообщить понятию энергии абсолютную

186 ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

реальность¹, все же при полной невыясненности вида присущей телам дееспособности нельзя было чисто физическим путем, без помощи теоретико-познавательных средств, обосновать ни постоянства, ни изменчивости этой способности. Сколько бы закон сохранения энергии ни признавался всеобщим физическим началом, но по вопросу о правильном обосновании этого закона не было уверенности и единомыслия. Экспериментальная физика могла в очень многих случаях путем измерения проверить этот закон и тем сделать его всеобщность в высшей степени вероятной; но для такого фундаментального применения этого закона, о каком речь была выше, подобное индуктивное доказательство многим физикам казалось еще недостаточным. К этому присоединялось еще и то обстоятельство, что этот закон и самой энергии касался лишь с одной стороны, а именно, со стороны ее *количественной неразрушимости*, не касаясь вовсе другой ее стороны — *качественной способности к превращению*. Обе эти причины одинаково вели от энергии назад к ее *источникам*; а так как допущение различных элементарных сил, связанных с различными материями, казалось настолько несовместимым с представлением о всесторонней способности к взаимному превращению различных форм энергии, насколько с ним согласовалось допущение *единой, наделенной лишь различными внутренними движениями материи*, то значительная часть физиков пришла теперь к заключению, что *все виды энергии следует выводить из движения и все физические явления следует строить на чисто кинетической основе. Это не значит, что данные физики сразу стали отрицать существование каких бы то ни было сил в материи и отказались от применения обычной номенклатуры*, — они лишь высказывались против того, чтобы эти силы рассматривались как *конечные причины* явлений, и твердо надеялись, что *все действия сил, которые до сих пор еще не были сведены к внутренним движениям материи как к своим причинам, будут, в конце концов, к ним сведены*. Хотя это последнее направление в физике,

¹ Тэт в своем интересном сочинении „Properties of matter“, Edinburgh 1885 (немецкий перевод „Die Eigenschaften der Materie“, Wien 1888), говорит: „Уже из повседневного опыта он (читатель) должен был, конечно, вынести убеждение в объективном существовании материи... Но, с другой стороны для многих читателей будет, пожалуй, несколько ново узнать, что *энергии так же присуще объективное существование, как и материи* (стр. 3)... Опытами доказано, что энергия столь же мало, как и материя, может быть уничтожена или создана человеком. Она, следовательно, существует независимо от чувств и мысли человека, хотя она может быть познана лишь при их посредстве“ (стр. 4). Однако следующая затем фраза показывает, что и сам Тэт чувствует потребность свести противоположность между материей и энергией к противоположности между *материей и движением* или, еще лучше, заменить их единством *движущейся материи*: „Очень важно... то обстоятельство, что энергия встречается не иначе, как в связи с материей. Поэтому на материю можно смотреть, как на носителя или приемник энергии; *более чем вероятно, что, в конце концов, все различные формы энергии будут признаны зависящими от различного состояния движения материи*“ (стр. 4). Попутно отметим: то обстоятельство, что в указанной работе кое-где дается неправильное освещение методической и исторической сторон развития физики, представляется естественным, если принять во внимание известную крайнюю манеру суждения Тэта.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ 187

пожалуй, и не было выражено в систематическом и строго обоснованном виде, однако работы нового времени и по своему содержанию и по своему методу столь ясно склоняются в эту сторону, что чисто кинетическую разработку явлений можно, пожалуй, признать *физическим идеалом* новейшей физики.

Перемена во взглядах на сущность внутренних процессов в материи, вызванная, прежде всего *волновой теорией света* и в еще большей степени *механической теорией теплоты*, проявилась сначала в том, что все возражения против *атомистического воззрения на материю* умолкли. Если прежде, растворяв материю в составляющих ее силах, вопрос о внутреннем ее строении все более отодвигали на задний план, то теперь *Фехнер*, *Грассман* и другие в ряде обширных углубленных работ показали, что новая физика постоянно требует в качестве основы для своего развития допущения, что материя состоит из абсолютных или относительных раздельных единиц. Вместе с этой *новой атомистикой* и под ее эгидой, благодаря трудам *Кренига*, *Клаузиуса*, *Максвелла* и других, возникла чисто кинетическая, чрезвычайно смелая теория новой физики, *механическая теория газов*. Ей удалось то, что до сих пор считалось совершенно невозможным — исчисление *скорости*, *длины свободного пути* и (хотя бы приблизительно) *величины молекул газов*. Она же, исходя, обратно, из своих допущений о *внутреннем трении*, *теплопроводности газов* и т. д., сумела получить результаты, хорошо подтвердившиеся на опыте. *Этим для математической физики была завоевана новая область, не уступавшая по своей плодотворности прежним завоеваниям.* Этот первый шаг в область механики атомов тотчас же повлек за собою и второй. Во многих случаях сопоставление результатов теоретических расчетов с данными опыта показало, что допущения *простого* строения материи из абсолютно элементарных атомов недостаточно для объяснения явлений, — что, наоборот, эти атомы следует себе представлять составленными, в свою очередь, из особых частей, из *атомов второго порядка*, и что наряду с движениями молекул следует еще принимать в расчет *интрамолекулярные движения*. Тем самым физика теперь пришла к тому же выводу, который уже раньше и независимо от нее был получен родственной ей наукой — химией, хотя и здесь этот вывод получил всеобщее признание лишь в последнее время. *Таким образом, перед взором физика-атомиста открылась перспектива продолжающейся до бесконечности сложности состава материи, а вместе с тем и бесконечной ее делимости, т. е. непрерывности материи.*

Успехи кинетической разработки теории газов вполне естественно привели к попытке перенести ее и на теорию всякой материи вообще ¹. Для этого, прежде всего, было необходимо

¹ В этом именно смысле У. Томсон, при открытии заседания математико-физической секции Британской ассоциации в Монреале в 1884 г., сказал следующее: „Хорошо известная теперь кинетическая теория газов представляет собою столь важный шаг на пути к объяснению с помощью движения таких

188 ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

свести к движению *всеобщее тяготение* и, в частности, силу тяжести. И действительно, вскоре после появления кинетической теории газов, физики стали исследовать все возможные виды внутренних движений с точки зрения их пригодности для этой цели. С одной стороны, в соответствии с волновой теорией света, пытались создать и *волновую теорию тяжести*; с другой стороны, — тяготение пытались объяснить *давлением*, исходящим из всякой весомой материи, распространяющимся во всенаполняющем эфире и передаваемым последним обратно телам. В конце концов, пришли к гипотезе, приближающейся к кинетической теории газов, и стали силу тяжести объяснять, подобно Лесажу, *токами эфира*, пронизывающими пространство во всевозможных направлениях и попадающими на тела со всех сторон. К сожалению, успех не вполне оправдал приложенных усилий. Хотя некоторые из относящихся сюда работ представляют собою очень ценный вклад в разработку данной проблемы, однако ни одна из предложенных теорий не получила всеобщего признания. Можно даже сказать, что в *новейшее время надежды на близкое разрешение этой проблемы скорее понизились, чем повысились*. Но зато область применения кинетического принципа объяснения к различным проблемам физики постоянно расширяется и плодотворность этого применения, бесспорно, подтверждает его целесообразность. Многие так называемые *механические* теории, появившиеся в последнее время во всех отраслях физики, в большинстве случаев следовало бы скорее назвать *кинетическими*; если этот характер в них и не вполне выдержан, то указанное направление в них определенно представлено. Вполне естественно, что во всех этих случаях *руководящими стимулами* являются *механическая теория теплоты, кинетическая теория газов и волновая теория света*. Механическая теория теплоты непосредственно побуждала к тому, чтобы все весомые тела рассматривать как системы непрерывно движущихся молекул, и под влиянием этого воззрения учение о молекулярных силах все больше и больше объединялось с учением о теплоте в единую *механику молекул*. Каким образом при этом пришли к *механическому обобщению основных положений теории теплоты* и к *механическому обоснованию ее основных понятий*, было уже изложено выше. Теперь же нам предстоит рассказать о применении кинетического воззрения на материю к учению об *агрегатных состояниях вещества, их превращениях и их взаимодействиях*. Так как при этом выяснилось, что все формы материального бытия, в противоположность прежним воззрениям, представляют собою постепенно переходящие друг в друга и не имеющие определенных границ состояния всей материи, то это, естественно, побудило перенести результаты, достигнутые кинетической теорией

свойств тел, которые представляются нам статическими, что едва ли можно удержаться от мысли, что в будущем появится полная теория материи, в которой все свойства последней будут рассматриваться лишь как атрибуты движения* („Nature", XXX, стр. 417, 1884).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ 189

рией газов в *теории диффузии, внутреннего трения, теплопроводности* и т. д., и на *капельно-жидкие тела*, а частью и на *твердые тела*. Наконец, и основанные в значительной мере на допущении молекулярных сил теории, как *теория капиллярности* и *упругости*, в свою очередь должны были, для объяснения так называемых *последствий*, воспринять *элементы кинетической концепции*. Точно так же и *оптика* добилась своего величайшего достижения, полностью привлечшего к себе на некоторое время интерес физики и химии, а именно — *спектрального анализа*, только благодаря тому, что она объединила предпосылки волновой теории с предпосылками механической теории теплоты и *перебросила мост от колебаний эфира к колебаниям материальных молекул*. Результаты этой новой установки сказались не только в том, что новый оптический анализ ознакомил нас с *материальной структурой космических тел*, но также в том, что они дали толчок к созданию *новых гипотез о молекулярном строении тел*.

На той же общей почве выросла и теория поразительного явления, так называемой *аномальной дисперсии*, и даже в области *физиологии органов чувств* кинетика оказалась более плодотворной, чем допущение особых материй, наделенных особыми свойствами. *Физиологическая оптика* уже в предыдущем периоде начала сильно развиваться под влиянием волновой теории света. Теперь же Гельмгольц свел остававшиеся еще до того времени загадочными *различия звуковых тембров, особенности гласных звуков, а также самые основы гармоник*, с их якобы исключительно психическим происхождением, только к особенностям колебательных движений. Наконец, под влиянием общего движения времени и *учение об электричестве* утратило свой специфический электрический характер и явно превратилось в *механику эфирных колебаний*, пытаясь слиться в этой области с оптикой. Потребность в таком преобразовании сказалась с особенной силой для теории *распространения электрических действий на расстоянии*; нельзя, впрочем, не признать, что вопросы о *происхождении электрических явлений* и о *взаимодействии между пондеромоторными и электродвижущими силами*, несмотря на множество остроумных теоретических попыток, встречают еще много трудностей.

О постепенном преобразовании физических дисциплин свидетельствует, наконец, проведение через все области физики абсолютной или, точнее, *механической системы мер*. Правда, в области *оптики* и *акустики* проведение такой независимой от наших чувств механической системы мер осталось еще незаконченной попыткой; но зато в области электричества эта система мер была проведена не только *теоретически*, но и *практически*. Она послужила твердой основой для столь мощного развития в наше время *электротехники*, какое, конечно, было бы невозможно при отсутствии этой основы.

Из совокупности этих новых тенденций все яснее выявляется конечная цель развития физики — создание единой науки, физики,

190 ФИЛОСОФИЯ МАТЕРИИ

как механики всякой материи, как кинетики всех материальных движений, — науки, в которой отдельные дисциплины должны различаться между собою не сами по себе, а лишь по формам нашего восприятия, обусловленного различием наших чувств.

ФИЛОСОФИЯ МАТЕРИИ (приблизительно от 1860 до 1880 г.). Как ни сторонились физики, от какого бы то ни было влияния *философии*, тем не менее, и в это время они не могли совершенно освободиться от косвенного воздействия общих философских идей. Единогласие, с которым философы отрицали атомистическое строение материи, пошатнуло и у физиков твердую веру в реальность атомов. Можно даже сказать, что, невзирая на частные расхождения в других областях, в *теории материи* физики и философы стремились к одной и той же цели. Уже с давних пор и те и другие одинаково стремились полностью растворить всякого рода материи в силах и, таким образом, свести все проблемы материи к одной великой *загадке силы*. С другой стороны, вследствие долгого обращения в этом кругу идей, мысль настолько привыкла к понятию силы, что до известной степени перестала замечать загадочный характер его. В этом именно смысле физику теперь стали определять как «*науку о причинах или силах, обуславливающих явления и изменения в неорганической природе*»¹ полностью оставив материю со всеми ее трудностями родственной науке, химии, которая, конечно, уже не могла обойти проблемы вещества.

Закон сохранения силы сначала как будто бы вполне соответствовал такому воззрению, он даже как будто подкреплял его, так как давал возможность при всяких превращениях по заданной силе заранее определять величину силы, получившейся в результате превращения, не обращая при этом внимания на процессы, происходящие внутри материи.

И нельзя отрицать, что, после того как этот закон был признан бесспорным, подобный прием разработки естественных явлений с его помощью представляется соблазнительно точным. Но, с другой стороны, исследователю все же приходится, в конце концов, обращаться к самому процессу превращения сил, выяснять возможность последнего, отмечать его осуществление при заданных условиях, т. е. в конце концов, возвращаться к материи и притом не к рассмотрению свойственных ей сил, в понятии которых не заключается способности к превращению, а к рассмотрению внутренних движений материи, имеющих место при превращениях. И действительно, одновременно с установлением закона сохранения силы начался и *поворот в сторону материи*.

Когда закон сохранения силы был впервые проверен на процессах *превращения теплоты и механической работы*, пришли к убеждению, что подобное превращение было бы невозможно, если бы теплота не была *явлением движения*, и именно *движения внутренних частей материи*, в том числе и весомых. Но это достижение, завершившее собою предшествующий период физики, очевидно, возвращало ее к вопросу

¹ *Eisenlohr, Lehrbuch der Physik*, 9 изд., стр. 1, Stuttgart 1863.

ТЕОРИЯ БЕЙС-БАЛЛОТА 191

о внутреннем строении и внутреннем движении, одним словом — к вопросу о структуре материи.

Все, что движется вместе, тем самым указывает на известную связь и на известную индивидуализацию; в конце концов, мы иначе, как при посредстве движения, индивидуализации постичь не в состоянии. Движение в материи можно себе наглядно представить лишь при условии, если мы допускаем в ней индивидуализацию, т. е. если мы допускаем, что она состоит из отдельных единичных частиц. Поэтому физик, придя к кинетической теории теплоты и пытаясь вывести большую часть явлений природы из внутренних движений материи, был по необходимости вынужден вернуться к *атомистическому взгляду на материю* как к единственно возможному, и в этой необходимости он нашел наиболее надежные доводы в пользу реальной действительности *атомной теории*. А так как и химия, приняв *двойное деление* материи на *молекулы* и *атомы*, теперь снова разрешила все свои загадки на атомистической основе, то в этот период атомная теория представлялась устойчивой и надежной, как никогда раньше. Благодаря этому философия материи обрела новую жизнь, хотя уже и не на чисто философской, а на эмпирической естественнонаучной основе.

Сначала старались, насколько возможно, оставаться в *кругу ньютоновских воззрений*, пытаясь приспособить старую атомистику с ее атомными силами к новым явлениям. С этой целью Бейс-Баллот, впоследствии известный голландский метеоролог, попытался в большом сочинении 1849 г.¹ доказать возможность существования различных молекулярных сил в единой материи, составленной из атомов. До сих пор, — так начинает свою работу Бейс-Баллот, — принимали два рода атомов: атомы массы и атомы эфира; первым приписывали различные формы, а относительно вторых не делали никаких предположений; но, во всяком случае, они значительно меньше первых; может быть, они бесконечно малы, *может быть, их даже вовсе не существует*. Существование атомов эфира допускали, по-видимому, лишь для того, чтобы ими заполнить пустые пространства между атомами массы и избежать несообразности одновременного существования в одной и той же частице притягательных и отталкивательных сил. Но так как первое этим путем неосуществимо, а несообразность второго несколько не больше, чем допущение двух совершенно различных видов материи, то можно допустить, что каждый атом массы единой материи, притягивая к себе другие атомы, имеет в то же время стремление распространяться, т. е. что в каждом атоме существуют одновременно две силы: притягательная и отталкивательная.

Обе эти силы слагаются в единую силу, которая, в зависимости от различных положений равновесия атомов, для некоторых точек пространства обращается в нуль и при этом меняет свой знак; следо-

¹ „Scheets eener physiologie van het onbewerkte ryk de natuur", Utrecht 1849. В „Fortschritten der Physik im Jahre 1849", т. V, сам Бейс-Баллот приводит подробный реферат этой работы — Christoph Heinrich Dietrich Buys-Ballot (1817 — 1891) — профессор математики в Утрехте, позднее директор метеорологического института там же.

192 ТЕОРИЯ БЕЙС-БАЛЛОТА

вательно, если x обозначает расстояние между двумя атомами, эта сила может быть выражена следующей формулой:

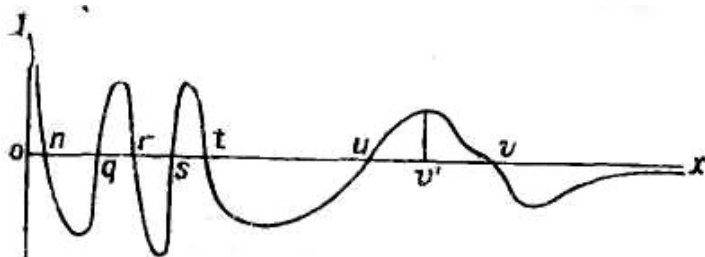
$$f(x) = -\frac{a}{x^2} + \frac{b}{x^3} - \frac{c}{x^4} + \frac{d}{x^5} - \dots \quad 1,$$

где $a, b, c, d, \dots$ — коэффициенты, зависящие также и от формы атомов. На этой зависимости основывается химическое различие веществ. Но на данный атом действует не только один соседний, а все окружающие атомы. Все эти действия опять-таки могут быть выражены следующей формулой:

$$F(x) = -\frac{A}{x^2} + \frac{B}{x^3} - \frac{C}{x^4} + \frac{D}{x^5} - \dots,$$

где величины $A, B, C, D, \dots$ составлены из величин $a, b, c, d, \dots$ и, следовательно, кроме формы атомов, зависят еще от расположения последних. В одном и том же веществе можно наблюдать различные состояния равновесия. В твердом, жидком и газообразном состоянии, а также при бесконечно большом расстоянии между атомами, результирующая сила равна нулю: то же самое, может быть, имеет место и при различных аллотропических модификациях. Тела в состоянии покоя находятся в равновесии, но не сами по себе, а под влиянием соседних частиц; если последние изменяются, то должно измениться и равновесие тел. Если привести в соприкосновение две системы, находившиеся в равновесии лишь под влиянием окружающих их частиц, то равновесие нарушается, и системы приходят в колебания, которые мы воспринимаем как *электричество*; если же колебания достаточно сильны, то частицы одной системы входят в другую, и таким образом колебания могут вызвать *химические* изменения. Изменения равновесия происходят от простого соприкосновения, или под действием света и теплоты, или под действием электричества, а может быть, даже под действием звука; последнее, впрочем, еще не подтверждено наблюдением.

Теплота есть такое состояние, при котором частицы тела находятся в поперечных стоячих колебаниях, а в эфире эти колебания распространяются в виде лучистой теплоты. Интенсивность теплоты пропорциональна живой силе Σv^2 , так как более высокие температуры содержат больше силы, но при этом присоединяются новые колебания с меньшей длиной волны. Постоянные в формуле силы являются, по-видимому, линейными функциями температуры. Законы *света* тождественны с законами теплоты, так что для перехода достаточно только заменить названия. *Электричество* заключается в продольных стоячих колебаниях частиц тела; поступательные продольные колебания



Черт. 5.

¹ Приложенный чертеж изображает наглядно форму функции $f(x)$; абсциссы соответствуют расстояниям между атомами; ординаты — величинам сил.

ТЕОРИЯ АТОМОВ ФЕХНЕРА 193

в эфире образуют лучистое электричество. Существует лишь *один вид электричества*; кажущееся же различие двух его видов происходит, может быть, оттого, что в одном из них впереди идет сгущенная, а во втором разреженная сторона волны. Благодаря продольности своих колебаний электричество должно изменять агрегатное состояние тел и производить химические изменения еще сильнее, чем теплота. Движущей силой *гальванического тока* является стремление составных частей жидкости к частицам металла, а регулирующая сила пропорциональна величине нарушенного равновесия во всех местах, где соприкасаются разнородные частицы. При соприкосновении меди с цинком положительная волна идет по цинку, отрицательная — по меди; частицы воды по теории Гротгуса вращаются, и все приходит в состояние колебания. При этом некоторые частицы заходят за пределы своего подвижного равновесия, и тем больше, чем сильнее колебания. Эти частицы тогда соединяются — цинк с кислородом, медь с водородом; но в последнем случае равновесие не наступает, водород выделяется свободным, если налицо нет соли, из которой водород мог бы вытеснить металл. При таком выделении или вытеснении прежнее состояние восстанавливается, и процесс продолжается снова. Таким образом, соприкосновение есть начало, а химическое изменение является причиной происхождения тока, подобно процессу в капиллярной трубке, из которой непрерывно удаляют поднявшуюся жидкость.

Сам Баллот отметил, что его представление о действии сил между материальными частицами, равно как и его кривые величины сил, полностью совпадают со старыми представлениями Босковича ¹. Но подобно тому, как во времена Босковича, так и теперь господствовало мнение, что *дуализм материи*, как причины притягательных и отталкивательных сил, во всяком случае, скорее мыслим, чем совместное существование многих взаимно друг друга уничтожающих сил в единой материи. Но так как никто, в том числе и сам Баллот, не сомневался в том, что отдельные члены $f(x)$ следует рассматривать как особые силы, то теория Босковича-Баллота была оставлена без внимания.

Не столько с целью новых открытий в области атомистики, сколько с целью теоретического ее обоснования, — с целью доказать, что при современном состоянии естествознания она представляет собою единственное возможное воззрение на материю, — Фехнер выпускает сочинение «Теория атомов» (1855 г.) ², в котором обращается преимущественно против философских противников этой теории, полагая, что именно благодаря им она даже у натуралистов не получила того полного и всеобщего признания, которого она заслуживает. В предисловии к первому изданию этого сочинения Фехнер говорит: «Если бы мне настоящим изложением удалось вырвать из когтей философии хотя бы

¹ См. настоящую работу, ч. II, стр. 306. Такие же воззрения на силы материи отстаивал и Джузеппе Белли (Giorn. di fisica di Pavia, 1814).

² „Die physikalische und philosophische Atomenlehre“, Leipzig 1855, 2-е издание, 1864. Gustav Theodor Fechner (1801 — 1887) — с 1834 до 1839 г. профессор физики в Лейпциге; с 1839 до 1843 г., вследствие тяжелой болезни глаз, прекратил научную деятельность; затем, после выздоровления, — профессор натурфилософии и антропологии в Лейпциге.

194 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АТОМИСТИКИ ФЕХНЕРА

одну душу, готовую низвергнуться вместе с ней в ту темную бездну умствований, где раздается лишь рев и скрежет зубовой, где каждый восстает против каждого, то я уже считал бы свой труд не потерянным».

Фехнер принимает, что *всякая материя как весомая, так и эфир, т. е. что «субстрат движений, обуславливающих явления света, лучистой теплоты, магнетизма и электричества (вероятно, общий)»*, состоит из атомов. Неопровержимые доводы в пользу такого допущения он видит, прежде всего, в явлениях *света и теплоты*. Волновая теория света необходимо требует атомного состава, как для весомай материи, так и для эфира. «С давних уже пор наиболее глубокие математики и физики признавали, что *дисперсия света* совершенно несовместима с волновой теорией; и это было единственной причиной, почему несравненно менее вероятной и ныне по неопровержимым основаниям окончательно покинутой теории истечения столь долго отдавалось предпочтение перед волновой теорией. Но вот теперь более новые исследования Коши показали, что указанная несовместимость имеет место лишь при условии, если принять, что световая волна распространяется в эфире, как в непрерывной среде, что, наоборот, законы дисперсии вместе с законами преломления вполне последовательно вытекают из основных положений волновой теории, если принять, что частицы эфира дискретны; больше того, в этом последнем случае дисперсия представляется столь же необходимой, как и преломление. Таким образом, вопрос, за или против атомизма, является вопросом жизни для волновой теории, подобно тому, как вопрос, за волновую теорию или против нее, есть вопрос жизни для физики». Подобно дисперсии и *поляризация света* объяснима только на основе атомистики; поляризация требует для своего объяснения поперечных колебаний эфира. Но спор между Френелем и Пуассоном ясно показал, что в непрерывной среде все поперечные колебания должны очень быстро прекращаться и переходить в продольные, тогда как в среде, состоящей из отдельных частичек, они могут распространяться дальше. После этого Пуассон провел все свои исследования по упругости, капиллярности и теплоте в атомистическом направлении, а в разработке оптики на подобных основаниях ему помешала только смерть. Подобно оптике и *термотика* необходимо требует атомистики. «Явления распространения тепла в телах и теплового излучения очень непохожи друг на друга. Там тепло медленно пронизывает тела, следуя, по-видимому, особым законам, здесь же оно распространяется со скоростью, сравнимой со скоростью света, и по таким же законам, как свет. Тем не менее, оба вида распространения должны подчиняться общим законам теории теплоты. Это и было доказано Фурье, показавшим, что законы проводимости теплоты вытекают из законов излучения, если весомай тела представить себе состоящими из отдельных частичек, излучающих тепло друг к другу». И закон синусов в излучении теплоты является только «естественным следствием наложения тел из атомов; наоборот, на основе непрерывности материи не существует надежных физических обоснований для этого закона». Другой род доводов Фехнер находит в необходимой причинной *связи между магнитными и электрическими*

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АТОМИСТИКИ ФЕХНЕРА 195

явлениями. Многообразные явления, являющиеся общими для магнитов и для электродинамических соленоидов, требуют общего пояснительного начала для магнетизма и электричества. Таковым является давно уже общепризнанная теория Ампера, которую следует понимать так, что круговые электрические токи обтекают не магнит в целом, а отдельные его частицы. Частицы же эти, «вокруг которых текут электрические токи, нельзя себе представить иначе, как в атомистическом смысле, ибо в сплошной массе проводящего железа, как его себе представляет сторонник динамической теории, существование отдельных круговых токов вообще невозможно, как бы ни смотреть на сущность электричества». В пользу атомистического представления о том, что магнит состоит из элементарных магнитов, говорят, далее, изменения магнетизма в магните от кручения, от звуковых колебаний и т. д.

В качестве дальнейшей группы фактов, говорящих в пользу атомистики, Фехнер приводит *общую связь всех так называемых молекулярных явлений*. «С представлением о дискретных частицах тела сразу появляется возможность различия в расстояниях между ними, попеременного их сближения и удаления, различного расстояния в различных направлениях, различной группировки; возможность изменения отношений сил в зависимости от расположения и расстояния частиц и вытекающие отсюда положения устойчивого и неустойчивого равновесия; наконец, возможность переходов из одного положения устойчивого равновесия в другое, а также постоянных перемещений частиц друг относительно друга. Совокупность этих возможностей мы видим осуществленной в цикле явлений, из которых каждое в отдельности могло бы, конечно, быть объяснено и иным путем; но взятые вместе они составляют как бы лучи единой звезды атомистики, в основной идее которой они только и находят свой центр и связь, так как там содержатся различия, изменения, переходы плотностей, строения и агрегатных состояний тел, слоистость и вообще различие свойств кристаллов в различных направлениях, упругость и переход через предел упругости, непрерывные органические движения. С этой совокупностью явлений весомого теснейшим образом связана рассмотренная выше совокупность явлений невесомого, а с этой общей совокупностью связана совокупность химических явлений. В самом деле, с дискретностью частиц дана также возможность того, что частицы одних тел проникают в промежутки между частицами других тел, что они выходят отсюда неизмененными, что одни и те же составные части группируются различным образом и что каково бы ни было соотношение сил между различными атомами, — состояние устойчивого равновесия между последними возможно не иначе, как при равном распределении сил между ними; здесь мы имеем растворение, соединение, разложение, постоянство весовых отношений, изомерию, включая метамерию и полимерию, — выведенные из того же простого основного представления, которое связало воедино указанные выше физические отношения весомого и невесомого».

Из случаев *изомерии* Фехнер, в частности, приводит один пример, который является прекрасным свидетельством пояснительной способ-

196 НЕПРЕРЫВНОСТЬ МАТЕРИИ

ности атомной теории. Бывают «случаи изомерии, при которых изомерные модификации одного и того же вещества физически и химически абсолютно ничем не отличаются друг от друга, кроме: 1) невозможности совместить путем наложения их, в остальном совершенно одинаковые (гемиздрические), кристаллические формы; в этом отношении они ведут себя совершенно так же, как перчатки с левой и правой руки, которые при полном в остальных отношениях равенстве невозможно совместить, и 2) вращения плоскости поляризации света в противоположных направлениях, вправо и влево, при полном равенстве отклонения в ту и другую сторону, как действуют; например, вращающая вправо и влево виннокаменная кислота, а также ее соединения... Как представляет себе причину этих явлений сторонник динамической теории? Он по обыкновению никак себе его не представляет, он ограничивается лишь словами... С атомистической же точки зрения легко понять, что между различными возможными построениями тел из молекул данной формы существуют и такие, когда молекулы в двух телах, при полном тождестве своих свойств, относятся друг к другу, как правая и левая перчатки или правая и левая руки, что одно тело состоит, так сказать, исключительно из правых рук, а другое из левых, одинаковые стороны которых расположены одинаковым образом, представляя, таким образом, противоположно устроенные системы. При таком предположении сразу становятся почти сами собою понятными те различия, которые выявляются на вращающей вправо и влево виннокаменной кислоте»¹.

Принятие атомистики Фехнер считает для физика прямо обязательным; но и для *философов* не остается поводов оспаривать ее, так как все философские основания, которые до сих пор приводились против атомистики, относились вовсе не к физической атомной теории, а к философской атомистике собственной фабрикации. Физик вовсе не утверждает, что атомы абсолютно неделимы, как это всегда указывает философ. «Все, чего требует физик-атомистик, — это дискретные, неделимые дальше для нас конечным образом массы, на которые распадаются тела, или, ближайшим образом, молекулы тела; до вопроса же, делимы ли сами по себе атомы и дальше, ему, как сказано, нет никакого дела. Возможно, что здесь повторяются те же отношения, какие существуют между космическими телами: по отношению друг к другу они являются настоящими атомами, потому что нет таких сил, которые могли бы перенести что-нибудь с одного светила на другое, а между тем сами по себе они делимы... Точно так же физик не может взять на себя смелость утверждать, что пространство между его атомами абсолютно пусто и не наполнено тонким непрерывным веществом, не имеющим, однако, влияния на те явления, которые доступны его исследованию ... Да и между дискретными атомами эфира, необходимыми еще физики для объяснения световых явлений, мог бы

¹ Эту мысль чрезвычайно плодотворно применили, начиная с 1875 г., химики ле-Бель и вант-Гофф к тождественным по своей структуре, но оптически различным соединениям (см. также Wislicenus, „Tageblatt der 60 Naturforscherversammlung“, стр. 53, Wiesbaden 1887).

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ 197

согласно его опытам и исчислениям существовать еще более тонкий непрерывный эфир; но физик не говорит о таких возможностях, которые для него безразличны, так как они ему ничего не дают. Если же они могут что-нибудь дать философу, — то это его дело заниматься ими ... Физику атомы нужны для начала, а не для конца. *Если философ предоставит физику его атомы вначале, то последний охотно предоставит под конец первому его заполненное пространство; одно не противоречит другому».*

Надежным основанием для физической атомистики являются, по мнению Фехнера, следующие положения: «Весомую материю следует себе представлять пространственно разделенною на дискретные части, между которыми находится невесомое вещество (эфир); о природе этого последнего и его связи с весомой материей, правда, существует еще во многих отношениях неуверенность, но, во всяком случае, эфир следует себе представлять совершенно так же, как и весомую материю, локализованным пространственно и разделенным на дискретные части, между которыми находятся либо абсолютно пустое пространство, либо же только нечто такое, что философия может принять в угоду своей идее о заполненности пространства, но что уже не имеет никакого влияния на физические явления и, следовательно, может быть оставлено физиками без внимания... Последние атомы либо сами по себе неразрушимы, либо, по крайней мере, в области физики и химии не существует средства для их разрушения, и нет оснований допускать, чтобы такое разрушение или же разжижение стало когда-нибудь возможным. Большие или меньшие количества таких атомов в области весомого соединяются в маленькие группы (так называемые молекулы или сложные атомы), которые находятся на большем расстоянии друг от друга, чем атомы в каждой группе; эта система степеней может быть продолжена, так что меньшие группы в свою очередь могут соединяться в большие ... Идя в обратном порядке, можно сказать, что тела, вообще говоря, могут быть разделены на большие и меньшие группы частиц вплоть до последних атомов, из которых, однако, первые могут быть разрушены, последние же нет. О взаимном расстоянии между последними атомами известно только, что оно очень велико по сравнению с размерами самих атомов. Об абсолютных же размерах атомов и даже о том, имеют ли они поддающиеся измерению размеры, — ничего не известно. Молекулам или сложным атомам можно приписать некоторую определенную форму в виде очертания охватываемой ими группы, о форме же последних атомов ничего не известно. Силы атомов являются частью притягательными, частью отталкивательными; по крайней мере, до сих пор их еще не удалось свести к одним только притягательным силам. Их действия являются функциями расстояний частиц. Точный закон этих сил неизвестен ... Что касается строения эфира в мировом пространстве и, в особенности в телах, то он, как уже сказано, подобно весомым телам состоит из частиц, находящихся на некоторых расстояниях друг от друга. Эти расстояния столь велики, что размеры частиц исчезают по сравнению с ними. Тяжестью эфира, если она существует, можно пренебречь во всех световых явлениях по сравнению с другими силами, от которых

198 ПОНЯТИЕ СИЛЫ

эти явления зависят, так что в этом отношении эфир можно считать невесомым. Хотя он и не совсем несжимаем, однако его частицы могут несравненно легче перемещаться друг относительно друга, чем сближаться между собою под влиянием сжатия. Он обладает совершеннейшей упругостью, т. е. сила, с которой атом эфира, выведенный из своего положения равновесия (положения покоя), стремится возвратиться в это положение, строго пропорциональна отклонению от положения покоя... В телах различной структуры плотность и упругость эфира различны».

Нет нужды входить в дальнейшее рассмотрение этих положений, которые были выведены в результате борьбы мнений Фехнером, проявившим при этом верный взгляд и правильное понимание всесторонне образованного физика и философа; они до сих пор служили и, вероятно, в дальнейшем останутся основами для наших воззрений. Но, с другой стороны, некоторые последующие главы, в особенности глава, посвященная *понятию о силе* и его отношению к *понятию о материи*, а также глава о сущности атомов, характерны для воззрений того времени. Физик, считающий излишним знакомиться с историческим развитием своей науки, полагая, что изучение истории является бесполезной тратой времени, которая в крайнем случае, допустима лишь в науках, застывших в своем развитии, — приходит к такому убеждению, надо думать, под влиянием того мнения, будто все труды прежних физических эпох непригодны для нынешней и сами по себе слабы, между тем как, начиная с нового времени, когда уже были установлены важнейшие основания науки, эти последние оставались все время неизменными. О том, в какое время произошел такой поворот, начиная ли с Галилея или Ньютона, или же только в текущем столетии, в этом он обыкновенно не отдает себе отчета. А между тем изучение каждой более старой работы, которая была посвящена рассмотрению основных воззрений, показывает нам, что развитие науки продолжалось непрерывно все время и что и в текущем столетии состояние науки тоже все время изменялось.

При исследовании отношений между понятиями о силе и материи Фехнер, прежде всего, полемизирует против *динамического* понимания материи, исходящего от Канта, согласно которому материя могла бы быть построена на столкновении противоположных сил — притягательных и отталкивательных. «Физика требует, — говорит Фехнер, — центров для силы, которые сами по себе не могут быть рассматриваемы как силы; поэтому необходимо постараться возможно полнее выяснить значение этого различия материи и силы, а не стирать его. Динамическое воззрение до сих пор не было в состоянии достигнуть этого в такой мере, чтобы физика могла этим воспользоваться, чтобы установилось единогласие между самими философами и была осуществлена связь с живой обыденной речью». Несмотря на это, и у самого Фехнера понятие о силе остается в сущности тем же, каким оно было у ньютоновской школы, а потом и у философов-динамиков. Правда, Фехнер пытается вернуться непосредственно к *более осторожному воззрению самого Ньютона* и избежать последующего догматизма его учеников. Он не определяет силу, подобно этим последним, как непосред-

ственное действие материи на расстоянии; напротив, подобно Ньютону, он старается выразить силу только при помощи закономерных движений тел при взаимном их сближении или удалении. *«Сила заключается, — так выражается Фехнер, — в закономерном соотношении материй».* *«Сила для физика вообще есть не больше, чем вспомогательное выражение для изложения законов равновесия и движения, имеющих место, когда материя противостоит материи».* Выражение «между солнцем и землею действует сила взаимного притяжения» означает не больше, чем следующее: солнце и земля, противостоя друг другу, движутся друг относительно друга по определенному закону; физику о силе известен только закон; ничем другим он не в состоянии ее охарактеризовать». Однако это воззрение у Фехнера все-таки фактически проведено довольно слабо, и в большинстве случаев, естественно, у него просто сохраняются прежние ходячие представления. Фехнер считает совершенно неправильным представление, будто сила, подобно свету, распространяется из определенных заданных точек. «Бесспорно, уменьшение силы тяготения, электрической и магнитной силы, в обратном отношении к квадратам расстояний не только чрезвычайно подходит к этому представлению, но и составляет его главную опору. Но сила не требует времени для своего распространения, так как закон его не требует, для света же время для этого требуется; уже здесь аналогия становится несостоятельной. Да если бы она даже и могла быть проведена далее, то и тогда физик практически не вывел бы ничего из того, что «нечто» распространяется между данными веществами; все, что могут дать ему силы, он извлекает из законов движения материй, между которыми распространяется это «нечто»; при этом распространяющееся между ними «нечто» остается пустым названием, хотя бы мы и заменили это название словами толчок, импульс, побуждение». Отсюда Фехнер приходит к представлениям о действии силы, совершенно сходным с теми, которые уже были развиты Босковичем и в последнее время Бейс-Баллотом; он только находит самостоятельные изменения силы в известных точках невероятными. Он пытается найти причину этих превращений не в одной силе, а в совместном действии многих сил, и принимает, что сила, действующая в комбинации точек, пропорциональна произведению всех возрастающих от точки к точке расстояний¹. Этот закон силы включает в себе закон Ньютона для

¹ „Atomenlehre“, стр. 207. „В каждой комбинации любого числа частиц действует сила, которая по величине и направлению вполне определяется расположением всех составляющих частиц и выражается в том, что скорости всех частиц одновременно возрастают или убывают пропорционально величине этой силы в направлении ее действия. По величине эта сила обратно пропорциональна произведению квадратов всех расстояний, какие можно взять от каждой частицы ко всем остальным. Как сила притягательная она побуждает все частицы двигаться к их общему центру тяжести; как сила отталкивательная она стремится, наоборот, удалить их от общего центра тяжести, — то или другое, в зависимости от того, является ли вышеуказанное произведение отрицательным или положительным. Распределение действия этой силы на отдельные частицы, или движение отдельных частиц под действием этой силы, происходит таким образом, что при этом выполняется принцип сохранения центра тяжести, в силу которого частицы, считая от положения покоя, стремятся к центру тяжести или от него со скоростями, прямо пропорциональными их расстояниям от центра тяжести“.

200 АБСОЛЮТНО ПРОСТЫЕ АТОМЫ

случая действия двух частиц; но так как при своей сложности он мало обратил на себя внимания со стороны физиков и еще меньше подвергся проработке с их стороны, то мы и не будем на нем дольше останавливаться.

В своих исторических замечаниях Фехнер не упоминает — и это одна из самых любопытных сторон его сочинения — о несомненных атомистах, если только они находятся вне области ньютоновского воззрения на силу. Следует ли Декарта наряду с Лейбницем приводить в числе атомистов, в этом можно сомневаться, хотя система декартовых элементов так же атомистична, как и учение последнего о монадах. Но то обстоятельство, что в сочинении, где приведены все возможные доводы приверженцев атомистики, начиная с Босковича вплоть до новейшего времени, ни разу не упоминается, ни имя, ни система Лесажа, ясно показывает, что физики того времени продолжали еще оставаться в пределах ньютоновского воззрения на силу, и позволяет судить, *насколько, в общем, тогда еще были далеки от мысли об удалении из области физики всех элементарных сил и как вообще старательно отклоняли от себя мысль — рассматривать в физике только движения, без всякого отношения к гипотетическим элементарным силам.* И в полном соответствии с этим следует, пожалуй, еще отметить, что и в сочинении Фехнера закон *сохранения силы*, хотя и упоминается несколько раз, однако играет только *подчиненную* роль.

Теория атомов Фехнера представляет в некоторых отношениях двойственность; по отношению к строению материи она является законченной, и в этом отношении она даже для нас остается еще поучительной; но с точки зрения ее воззрения на силу она принадлежит целиком к старой школе и не обращает никакого внимания на выявившиеся уже следы других воззрений. Напротив того, в последней философской части своего труда Фехнер снова очень подробно занимается вопросом о конечном строении атомов, о котором именно в то время появилось множество сочинений. Он решился принять атомы за простые образования, «которые занимают только место, но не имеют никакого протяжения, а между тем, благодаря своим взаимным расстояниям, способны создавать системы, имеющие протяжение». «Эти простые образования можно назвать, — говорит он, — материальными точками, центрами сил, точечными интенсивностями, субстанциальными единицами, простыми реальностями, монадами, — название в данном случае безразлично. Но их природа, значение, содержание, применение и проявление определяются тем и только тем, что они являются пределом разложения осязательного и наделенного осязательными свойствами, объективно (чувственно извне) воспринимаемого реального содержания пространства. Их следует определять лишь в таком отношении к данным опыта; поэтому атомы нельзя представлять себе точками вне пределов времени и пространства, следует только иметь в виду, что какими бы малыми мы ни представляли себе эти точки, этого все-таки будет недостаточно». В пользу такой простой атомистики Фехнер ссылается еще и на то обстоятельство, что уже раньше его многие достойные уважения физики и математики, в особенности иностранцы, как Боскович, Ампер, Коши, Сеген, Муаньо, Сен-Венан и

АБСОЛЮТНО ПРОСТЫЕ АТОМЫ 201

другие, утверждали о существовании простых атомов; что хотя в Германии возможность таких атомов до настоящего времени допускалась только попутно, но В. Вебер, Гельмгольц, Р. Голе и другие, по-видимому, склонялись к этому воззрению. Даже те из философов, которые присоединились к монадологии Лейбница, относились благосклонно к простой атомистике, и такие лица, как Лотце ¹, Макс Дросбах ², Герман Лангенбек ³ и Фихте ⁴, высказывались определенно в пользу этого вида атомистики. Следует, впрочем, по этому поводу отметить, что названные выше философы, как показывают самые заглавия их сочинений, примкнули к атомистике только из *психологического* интереса и для обоснования идеи, что *душа* представляет собою простую, не преходящую монаду ⁵, а также, что с того времени физики все более и более отказывались от допущения, что материя составлена из *нематериальных* элементов.

Подобно работам названных выше философов, сочинение Роберта Грассмана «Die Lebenslehre oder die Biologie», Stettin 1862 («Учение о жизни или биология») тоже ставит себе конечной целью объяснение одушевленной природы, но оно построено на чисто физическом основании ⁶. По мнению Грассмана каждое тело состоит из предельных частей, «которые уже не могут быть дальше разложены на меньшие части того же рода». Так как эти части даже у наших химически простых тел могут быть еще разложены, то Грассман предлагает

¹ „Mikrokosmos“, т. I, Leipzig 1856.

² „Die Harmonie der Ergebnisse der Naturforschung mit den Forderungen des Gemüthes oder die persönliche Unsterblichkeit als Folge der atomistischen Verfassung der Natur“, Leipzig 1858. „Die Genesis des Bewusstseins nach atomistischen Principien“, Leipzig 1860.

³ „Über Atom und Monade“, Hannover 1858.

⁴ „Anthropologie“, 2 изд., 1860.

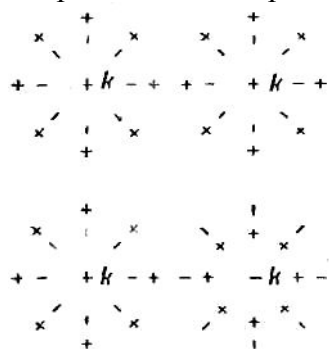
⁵ В заключение и Фехнер в своей атомистике, но только иным образом, переходит в *область психологии*. Возражая против монадологического определения души, он указывает, что последнее не в состоянии доказать бессмертия души, так как оно принимает простоту души именно *ad hoc* (для этого). Он противопоставляет монадологическому взгляду на душу свой собственный, который он называет *синехологическим*. „Он существенно отличается от монадологического взгляда: вместо того чтобы связывать психологическую единицу с отдельными атомами и поэтому видеть столько же душ в мире (сознательных или бессознательных), сколько существует метафизически или физически отдельных простых телесных атомов, он (синехологический взгляд) соединяет психологическую единицу в высшей и последней ее инстанции с закономерной связью мировых атомов (бог), а второстепенные психические единицы (души животных и людей) — с второстепенными частными системами этой цельной системы“ (стр. 249). Согласно этому взгляду, который вполне согласуется с воззрением Фехнера на сущность силы, живое сознание соединено не с сущностью атомов самих по себе, а с состоянием их движения по законам, в которые до известных пределов можно проникнуть путем опыта. Один из наиболее основных законов Фехнер развил в своих „Elementen der Psychophysik“ (Leipzig 1860), а именно закон о пороге ощущения; согласно этому закону никакое движение, способное вообще повлечь за собою осознанное ощущение, не в состоянии вызвать последнего до тех пор, пока оно не перейдет известной степени живости или силы, так называемого порога ощущения.

⁶ Robert Grassmann, брат Herm. Günther Grassmann, книгопродавец в Штеттине.

202 АТОМНАЯ ТЕОРИЯ Р. ГРАССМАНА

для них название «*зерно*» вместо обычного выражения атом. Каждое простое, несложное зерно отличается от точки пространства только тем, что ему присущи силы. Сложное же зерно может иметь несколько центров сил, которые различно расположены и имеют также различный вес.

Все силы действуют обратно отношению квадратов расстояний и являются частью притягательными, частью отталкивательными. Согласно роду этих сил следует также различать и *двоякого рода точки сил*. Те из последних, которые обладают только притягательными силами, называются *телесными точками* и составляют основу весомой материи. Но наряду с ними существуют и такие точки сил, которые проявляют одновременно и притягательные и отталкивательные силы. Эти точки сил, которые Грассман называет *э-точками* (Erpunkte), в свою очередь делятся на две группы таким образом, что э-точки одной и той же группы взаимно отталкиваются, а э-точки, принадлежащие к различным группам, взаимно притягиваются; поэтому Грассман их делит на *положительные*, или *эр-точки* (Erpunkte), и *отрицательные*, или *зи-точки* (Siepunkte). Сила телесных точек называется *тяготением*, сила э-точек — *э-силою* (или *электричеством*). Э-точки существуют только попарно и притом так, что всегда две из них, вращающиеся одна около другой наподобие двойных звезд, соединяются в *одну э-пару*. Э-пары на больших расстояниях не производят на телесные точки ни притяжения, ни отталкивания, так как их противоположные силы взаимно нейтрализуются, следовательно, они *невесомы* и образуют массу *мирового эфира*. Но на молекулярных расстояниях телесные точки и э-пары действуют друг на друга и притом так, что каждая телесная точка одну э-точку (ближайшую) притягивает сильнее, а другую отталкивает слабее и что, следовательно, между телесными точками и э-парами всегда существует избыток силы притяжения. *Зерна (атомы) состоят из телесной точки и окружающей ее атмосферы гомологично расположенных э-пар*. Но так как и телесные точки, по своему отношению к э-точкам представляют два вида и притягиваются или отталкиваются положительными или отрицательными э-точками, то следует еще различать *положительные* или *отрицательные* зерна, крайний внешний слой которых образуется положительными или отрицательными э-точками (см. черт. 6). Э-пары взаимно отталкиваются или притягиваются, в зависимости от их положения, в обратном отношении к биквадратам, а телесные точки притягиваются в обратном отношении только к квадратам расстояний. А так как при взаимодействии зерен на малых расстояниях их атмосферы находятся значительно ближе друг к другу, чем зерна, то из этого следует, что при сближении однородных зерен отталкивательная сила одинаково направленных э-пар должна возрастать гораздо сильнее, чем сила взаимного притя-



Черт. 6.

жения телесных точек, и что этим и обуславливается известное положение равновесия зерен.

Притяжение, имеющее место между разнородными зернами, усиленное благодаря притяжению противоположно направленных э-пар, называется *химическим сродством*. При наибольшем сближении, при прикосновении или трении, разнородные зерна обмениваются своими э-точками таким образом, что отрицательные собираются на одном ядре, а положительные на другом, вследствие чего освобождаются особые э-силы (или электричества). Подобно однородным или разнородным зернам, *э-токи* (эфирные токи) тоже притягиваются или отталкиваются, в зависимости от того, направлены ли они в одну сторону или в противоположные. *Магнетизм* происходит вследствие того, что в зернах э-точки вращаются около центра тяжести телесных точек. *Теплота* состоит из колебаний целых зерен, *свет* — из колебаний э-пар.

Как видим, Грассман с еще большею определенностью, чем Фехнер, пытался трактовать атомистику чисто динамически и все вещества выразить в силах; но для этого ему приходится сконцентрировать в одной точке разнообразнейшие силы. Положительная телесная точка притягивает отрицательную э-точку, отталкивает положительную и при этом действует еще притягательно на всякую другую телесную точку, независимо от того, относится ли эта последняя к э-точкам совершенно так же или прямо противоположно. Однако необходимость столь сложного механизма действий, которые исходят от одной и той же точки, не содержащей в себе ничего определенного и даже совершенно не поддающейся какому-либо определению, не могла быть на пользу динамической атомистике, а скорее пробудила потребность в *кинетической атомистике*, которая постепенно и стала выдвигаться на первый план — по мере того, как стали больше заниматься механической теорией теплоты¹.

Поворотный пункт в этом отношении представляла уже работа Вильгельми от 1851 г. «Versuch einer mathematisch-physikalischen Wärmetheorie» («Опыт математико-физической теории теплоты»)². Вильгельми сохранил допущение, что притягательные и отталкивательные силы сосредоточены на *двух различных материях*, но в большей степени, чем динамические атомисты, настаивал на влиянии структуры телесных частиц и на влиянии всех соседних частиц на характер действия силы. «Под материей мы понимаем, — говорит он в своем сочинении, — совокупность всего существующего в пространстве. Но материя существует только, поскольку она производит некоторое действие, причем это действие может быть только взаимным между ее частями... Так как материя не может быть количественно ни увеличена, ни уменьшена, то между ее частями возможно только такое взаимодей-

¹ Сам Грассман, несмотря на множественность допущенных им сил, применял еще и кинетический момент для построения э-пары, точки которой, благодаря их силам притяжения, должны были бы сталкиваться, если бы они, подобно планетам или двойным звездам, не удерживались на своих орбитах силою движения.

² Ludw. Ferd. Wilhelmy (1812—1864) — сначала аптекарь в Штаргарде, потом приват-доцент в Гейдельберге; с 1854 г. занимался научными исследованиями в качестве частного лица в Берлине.

204 ТЕОРИЯ МАТЕРИИ ВИЛЬГЕЛЬМИ

ствие, которое вызывает перемещение... Так как, далее, относительное перемещение точек может быть только двоякого рода, а именно, такое, при котором их взаимное расстояние увеличивается или уменьшается, то возможны только два класса элементов материи: взаимно отталкивающиеся и взаимно притягивающиеся. *Следовательно, должны быть допущены двоякого рода точки сил, образующие материю: отталкивательные (эфирные атомы) и притягательные (атомы масс)*... Но материя существует не в своей абстракции, а только как определенная материя... Элементы этой качественно, т. е. химически, определенной материи называются *молекулами*. Различную степень способности к действию они обязаны различию своего строения; *именно, атомы масс соединены с атомами эфира в молекулы; как таковые они и образуют качественно (химически) определенное целое путем сочетания в различных отношениях притягательных и отталкивательных силовых точек*. Эти молекулы распределены в среде, эфире, который состоит только из отталкивательных силовых точек, поэтому мы можем рассматривать молекулы как окруженное и пронизанное эфиром созвездие атомов масс... Полное действие сил такой системы атомов, т. е. молекулы, можно рассматривать как исходящее из центра действующих в ней сил; следовательно, молекулярные центры можно рассматривать как центры сил, которым присущи в одно и то же время притягательное и отталкивательное действия... Величина результирующего действия молекулы зависит: 1) от сочетания в различных отношениях входящих в ее состав силовых точек, т. е. от химического качества... и 2) от распределения и расположения силовых точек... Равнодействующая сил одной молекулы действует на соседнюю молекулу не только как на целое, но и на составляющие ее атомы; таким образом, молекулы индуцируют друг друга, т. е. они взаимно обуславливают расстояния входящих в их состав атомов от центра сил в молекуле... Величина индуктивного действия зависит от качества и расстояния окружающих молекул. Если индуцирующее действие одинаково по всем направлениям, то и распределение силовых точек в молекуле однородно, а, следовательно, и исходящее из нее результирующее действие по всем радиусам одинаково; в этом случае молекула находится в состоянии *электрического равновесия*. Но если однородность окружения каким-либо образом нарушается, то распределение силовых точек в молекуле становится неоднородным, молекула неоднородно индуцируется или поляризуется и оба электричества, как обычно выражаются, становятся в ней свободными. Молекула может быть поляризована *трояким образом*:

1) *механически*: когда по одному и тому же направлению против одной молекулы расположены однородные, но не равноотстоящие молекулы;
2) *химически*: когда по одному и тому же направлению против одной молекулы расположены качественно различные молекулы; 3) *электрически*: когда против нее по одному и тому же направлению расположены электрически разнородные молекулы... *Благодаря силам, с которыми они действуют взаимно друг на друга, молекулы находятся в постоянном движении, колеблясь около положения покоя*. При более глубоком исследовании следовало бы принимать во внимание и движения внутри самой молекулы, т. е. колебания атомов, которые должны про-

ТЕОРИЯ МАТЕРИИ ВИЛЬГЕЛЬМИ 205

исходить вследствие изменения индукции; однако до сих пор довольствовались первым приближением и принимали во внимание только изменение места центров молекул. *Тела существуют в пространстве только благодаря движению своих молекул.* Момент творения наступил тогда, когда на созданную без сомнения этим актом материю (так как материя немыслима без силы) была перенесена эквивалентная ее движению сумма силы, которая в вечном круговороте, проявляясь то в той, то в другой форме, распространяется во всем материальном мире»¹.

После этих общих рассуждений Вильгельми переходит к их применению к *теории теплоты*, в основание которого он кладет следующие определения. *«Под теплотой понимают эффект, зависящий от скорости колебания молекул. Абсолютная теплота молекулы пропорциональна квадрату скорости, с которой она проходит через положение равновесия. Температура тела пропорциональна или равна живой силе его колеблющихся молекул... Повышение температуры происходит, когда вследствие передачи живой силы увеличивается та живая сила, которая уже действует в молекулах тела».* Мы не будем, однако, здесь вдаваться в изложение математического вывода эмпирических законов из предыдущих общих положений, так как оно не имело никаких прямых последствий и едва ли принесло какие-либо плоды. Во всяком случае, за Вильгельми остается та заслуга, что он уже в начале пятидесятих годов, по меньшей мере, поставил наряду с влиянием молекулярных сил действие молекулярных движений и построил материю, по крайней мере, в идеале, не на, силах, а на движении. Что это было сделано не бессознательно, а, наоборот, с ясным пониманием направления научного развития, в этом можно убедиться из слов, которыми Вильгельми заканчивает введение к своему сочинению: «Если бы мне удалось выявить основную мысль, которая здесь заключается, то этим был бы сделан еще шаг вперед к конечной цели естествознания, к которой мы, хотя и медленно, но в новейшее время непрерывно и очень заметно приближаемся, а именно, к *решению задачи — свести все процессы в природе к движению и все причинное в явлениях к передаче и сохранению живой силы*»².

¹ „Vers. einer math.-phys. Wärmetheorie“, стр. 7—17, Heidelberg 1851.

² На аналогичных принципиальных основаниях, как Грассман и Вильгельми, но только несколько менее кинетически и больше динамически, по крайней мере, по сравнению с последним, пытался в 1857 г. построить теорию материи Ф. Редтенбахер (1809—1863), директор политехнической школы в Карлсруэ („Das Dynamidensystem, Grundzüge einer mechanischen Physik“, Mannheim 1857). Согласно его теории материя состоит из *тяжелых телесных атомов*, которые на измеримых расстояниях притягивают друг друга по закону Ньютона, а на очень малых расстояниях — в значительно сильнее возрастающем отношении — и из *невесомых атомов эфира*, отталкивающих друг друга и испытывающих притяжение со стороны телесных атомов. Если расстояние между двумя телесными атомами принять достаточно большим по сравнению с их размерами, а указанное притяжение между телесными и эфирными атомами — достаточно сильным, то эфир будет располагаться вокруг телесных атомов наподобие атмосферы, тогда как пространство между эфирными оболочками останется совершенно пустым. Такие телесные атомы с эфирными атмосферами называются *динамидами*. Между разнородными телесными атомами имеют место еще особые химические притягательные силы, благодаря которым многие простые динамиды

206 УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ КРЕНИГА

Но Вильгельми, по-видимому, не предчувствовал, что дальнейший значительный шаг по направлению к этой цели лежал довольно близко. В самом деле, если тепловое движение есть колебательное состояние частиц, которое с повышением температуры может беспрестанно усиливаться, то неизбежно мыслима и такая температура, а вместе с нею и такое состояние вещества, при котором молекулы под влиянием тепловых движений совершенно выводятся из сфер взаимного их действия, вследствие чего молекулярные силы перестают действовать. Но различные свойства газов, в особенности одинаковый коэффициент расширения, одинаковая объемная теплота и т. д., позволяли думать, что в газах это состояние уже наступило, что их молекулы уже перестали колебаться около некоторого определенного положения равновесия и что, будучи свободны от всякого притяжения и отталкивания соседних молекул, они движутся в пространстве прямолинейно, — по крайней мере, до тех пор, пока непосредственное столкновение с другими частицами не отклонит их от этого направления. Джоуль, как мы раньше указали, в 1851 г. пришел к такому заключению и даже вычислил для водорода скорость *поступательного движения* его молекул ¹. Но теоретически последовательно эта гипотеза свободного прямолинейного движения газовых молекул, механическая или кинетическая теория газов, была разработана немцами, А. Кренигом и Р. Клаузиусом.

А. Крениг в своем сочинении «Grundzüge einer Theorie der Gase» («Основания теории газов») 1856 г. ² указывает на то обстоятельство, что теперь стало общепринятым рассматривать *теплоту* как чистое явление движения, но что в то же время еще не существует ясного представления о *роде этого движения*; поэтому он обещает изложить гипотезу, по крайней мере, для газообразных тел, которая, по его мнению, соответствует всем требованиям ясности и наглядности. Согласно этой гипотезе газы состоят из атомов, которые ведут себя совершенно так же, как твердые идеально упругие шары, и движутся с известными скоростями в пустом пространстве. *Такой атом газа не колеблется около некоторого положения равновесия, но движется по прямой линии с постоянною скоростью до тех пор, пока он не столкнется с другим атомом газа или с твердой или жидкою стенкою, которые ведут себя при этих столкновениях тоже как совершенно упругие тела. Взаимодействие между атомами происходит не иначе, как при соприкосновении их на неизмеримо малом расстоянии* ³.

соединяются в одну сложную, которая тогда имеет одну общую оболочку. Вследствие взаимодействия между различными динамидами как ядра, так и их оболочки могут приходить в колебательные и вращательные движения, которые проявляются как звук, свет, теплота и электричество. Тепловые колебания представляют собою, вероятно, радиальные колебания, так как они расширяют вещество. Электрические и магнитные явления, которые не вызывают никакого изменения объема, заключаются, вероятно, во вращательных движениях.

¹ См. выше, стр. 78—79 настоящей части.

² Извлечение в „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 315.—Aug. Karl Krönig (1822—1879)—преподаватель гимназии в Берлине.

³ Однако, Крениг все же сохранил притягательные и отталкивательные силы материи, действующие, конечно, только на молекулярных расстояниях определенно полемизировал в 1864 г. против Шубича (профессора в Граце),

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ КРЕНИГА 207

Для того чтобы из этих допущений вывести механические законы газов, Крениг представляет себе сосуд в виде прямоугольного параллелепипеда с ребрами x , y и z , в котором равные по величине атомы движутся с равными скоростями (для простоты) только по трем направлениям, а именно, параллельно ребрам сосуда. Если обозначить массу одного атома через m , скорость его через c , а число ударов, производимых им в секунду об одну из стенок, через a , то давление, происходящее от этих толчков, составит $p = mca$. Но так как данный атом может встретить ту же стенку во второй раз не раньше чем, отразившись от противоположной стенки, то должны иметь место $a = c/2x$ и $p = mc \cdot (c/2x)$, если атом движется параллельно ребру x . Обозначим, далее, число всех атомов, содержащихся в сосуде, через n ; тогда, при допущении равномерного распределения скоростей, $n/3$ атомов будут двигаться параллельно ребру x и перпендикулярно к стенке yz , а вызываемое этим давление на стенку будет равно $p = mc \cdot (c/2x) \cdot n/3$. На единицу площади это дает давление $p = mc \cdot (c/2x) \cdot (n/3) \cdot (1/yz)$ или, если обозначим объем сосуда $x y z$ через v , мы получим $p = (n m c^2 / 6) \cdot (1/v)$. Таким образом, система атомов подчиняется закону Мариотта. Так как живая сила $m c^2$ пропорциональна абсолютной температуре, то предыдущему уравнению можно также дать следующий вид: $p v = const.$ и т., чем доказывается и применимость закона Гэ-Люссака к системе атомов. Положим, наконец, что для различных газов $p_1 = p_2$, $t_1 = t_2$ и $v_1 = v_2$, тогда, следовательно, и $n_1 = n_2$, чем подтверждается и закон Авогадро. Подобным же образом Крениг далее показывает, что и согласно его гипотезе давление газа на поверхность земли должно быть пропорционально не температуре его, но и, как для всякого другого тела, массе и ускорению силы тяжести и что объемная теплота для всех газов должна быть постоянной; равным образом из взаимодействия атомов при их столкновении ему удается вывести отклонения от закона Мариотта и Гэ-Люссака-Дальтона, которые обнаруживаются в большинстве газов. Конец работы Кренига посвящен вопросу о передаче движения атомов целым массам, т. е. вопросу о *превращении теплоты в работу* и обратно.

Работа Кренига побудила также и Клаузиуса выступить с изложением своих воззрений на тепловые движения, воззрений, которые у него составились, по его словам, уже со времени появления его первой работы в 1850 г., но опубликование которых он откладывал до настоящего времени, так как они казались ему еще недостаточно разрабо-

который в своем сочинении „Grundzüge einer Molecularphysik“ (Wien 1862) возражал против допущения существования в молекулах отталкивательных сил наряду с притягательными, как содержащего в себе внутреннее противоречие („Pogg. Ann.“, CXXXIII, стр. 299).

208 МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ КЛАУЗИУСА

танными. В известном сочинении «Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen» («О роде движения, которое мы называем теплотой») ¹ он полностью примкнул к Кренигу в том отношении, что и он приписал свободным молекулам постоянных газов только поступательное движение, но в то же время он тут же отметил, что реальные газы могут только более или менее приближаться к этому идеальному состоянию. Даже для простых постоянных газов он в математических прибавлениях к своему сочинению вычислил живую силу *поступательного* движения молекул равной только 0,6315 всего заключающегося в газах количества теплоты. Он полагал, что эти *отклонения от идеального состояния* могут происходить как вследствие *вращательного* движения газовых молекул, так и вследствие *колебательных движений* внутри молекул ²; он попытался даже по наблюдаемым Реньо отклонениям газов от закона Мариотта точнее определить это состояние движения, но, в конце концов, должен был отказаться от этой работы как безнадежной.

Поэтому Клаузиус в дальнейшем рассматривает только *идеальные* газы, молекулы которых обладают только поступательным движением, — с этой точки зрения он впервые дал свою знаменитую новую теорию *перехода из одного агрегатного состояния в другое*. В *твердом состоянии* частицы колеблются около определенных устойчивых положений равновесия. В *жидком состоянии* такого положения равновесия уже не существует; молекула уже не связана с определенными соседними молекулами и оставляет их под действием сил других молекул; однако поступательное движение еще не настолько велико, чтобы молекулы могли совершенно уйти из сферы действия других частиц. Но это положение имеет силу только для внутренних слоев жидкости; на свободной поверхности могут создаваться благоприятные условия, когда молекула будет отброшена с такой силою, что она выйдет из сферы действия других молекул и будет дальше двигаться прямолинейно. Если пространство над жидкостью ограничено, то оно постепенно заполнится такими молекулами и тогда некоторые из свободных молекул будут попадать в сферу притяжения жидкости и снова возвращаться в жидкое состояние. Но по истечении некоторого времени всегда наступает состояние равновесия между испарением и конденсацией, при котором, как выражаются, пространство над жидкостью насыщено паром. Из этого, в соответствии с фактами, следует, что плотность насыщения

¹ „Pogg. Ann.“, С, стр. 353.

² Клаузиус говорит („Pogg. Ann.“, С, стр. 354): „Прежде всего напрашивается мысль допустить наряду с *поступательным* и *вращательное* движение молекул, так как при всяком столкновении двух тел, если удар не окажется случайно центральным и прямым, наряду с поступательным возникает также и вращательное движение; далее мне представляется, что внутри отдельных, находящихся в поступательном движении масс имеет место также *колебание*. Если даже ограничиться рассмотрением одних атомов масс и считать их абсолютно твердыми, то и тогда не исключена возможность, *что молекула, состоящая из нескольких атомов, не образует уже твердой массы, но что отдельные атомы в ней обладают подвижностью в известных пределах и потому могут колебаться друг относительно друга*“.

должна с температурой возрастать, что при испарении должна исчезать теплота, равно как при конденсации она должна освобождаться, что газовые частицы могут отскакивать от стенки только с меньшей скоростью и, следовательно, температура пара должна понижаться, — когда одна из стенок сосуда отступает и пар совершает при этом работу, и т. д. Но по отношению к *связи между расширением и механической работой* следует проводить различие между парами и идеальными газами. У первых, даже при отсутствии всякой внешней работы, для каждого расширения (в безвоздушном пространстве) следует преодолевать притяжение, действующее между молекулами, и, следовательно, совершать внутреннюю работу, тогда как идеальные газы могут изменять свой объем только вследствие силы инерции их молекул, не производя при этом никакой внутренней работы. Так как различные газы при одинаковой температуре и при одинаковом давлении, даже вступая в соединение, не изменяют взаимно своего состояния движения, то следует допустить, что отдельные молекулы всех газов по отношению к поступательному движению обладают одинаковой живой силой. Но отсюда, по Клаузиусу, можно вывести еще другое заключение, ставшее одинаково важным как для физики, так и для химии, *что и в химически простых телах, как и в сложных, всегда несколько атомов соединено в одну молекулу*.

Возникшая таким образом кинетическая теория газов явилась совершенно революционным актом, достаточные основания которого зиждились, конечно, в механической теории теплоты. Она вырвала, по крайней мере, одну часть вещества из-под действия старых элементарных сил и свела все изменения и процессы в газах к изменчивым, но вечным самим по себе движениям. Несмотря на это, новая теория вызвала относительно мало принципиальных возражений, а напротив, встретила почти повсюду благосклонный прием и усердную дальнейшую разработку. Причина этого поразительного явления заключалась, конечно, в том, что новая теория возникла под защитой другой, уже признанной теории, которая все более укреплялась, а главным образом в том, что основоположники ее совершенно не касались *принципиальной* области, что они оставляли совершенно незатронутыми привычные примитивные силы и освободили от их действия одни лишь газовые молекулы; что они не обобщили дальше своей теории, не распространили ее на всю область физики, а пока ограничились одной только областью термотики, которая находилась в стадии преобразования. И, наконец, — а с физической точки зрения это было наиболее убедительным доводом, — в пользу новой теории газов говорили быстрые успехи, которых она достигла при разрешении своих ближайших задач, а именно, при определении скорости молекул, их средней длины пробега и т. д., равно как и согласие ее выводов с данными экспериментальных измерений ¹.

¹ Что при этом все же отдельные и даже известные физики оставались еще противниками кинетической теории газов, является, конечно, вполне естественным при новизне ее принципиальных основ. Так, например, в недавно вышедшей довольно обстоятельной статье „La notion de force dans la science moderne" („Revue scientifique" (3), XXXVI, стр. 129, 1885) ревностный и плодо-

210 ВЫЧИСЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ

Мы видели, что Джоуль уже в 1851 г. вычислил, по крайней мере, для водорода, скорость молекул при некоторой определенной температуре. Более обще подошел к разрешению той же задачи Клаузиус в математических дополнениях к своему сочинению 1857 г. Подобно Джоулю он тоже определил только *среднюю скорость молекул* и для этой цели допустил, что все молекулы газа движутся с одною и тою же скоростью, хотя в действительности такое допущение, конечно, неверно. Сверх того он не принял в расчет и взаимного столкновения молекул, так как при допущении идеальной упругости их скорости от столкновений не изменяются; при этом молекула всегда лишь обменивается своим движением с другой молекулой. Положим, что расстояние между двумя противоположными стенками сосуда, измеренное по перпендикуляру, равно h , и пусть направление движения молекулы образует с этим перпендикуляром угол θ , тогда длина пути от одной стенки до другой будет равна $h/\cos\theta$, а число ударов молекулы о каждую стенку в секунду $=ucos\theta/2h$, где u обозначает скорость молекулы. Сделаем еще допустимое предположение, что все возможные направления движения встречаются у отдельных молекул одинаково часто, тогда число молекул, направления которых лежат в пределах углов от θ до $\theta+d\theta$, будет относиться к общему числу n всех имеющихся налицо молекул, как площадь шарового пояса, лежащего между кругами, соответствующими углам θ и $\theta+d\theta$, относится к поверхности полушара. Число молекул, соответствующее угловому интервалу от θ до $\theta+d\theta$, будет равно $n \sin\theta d\theta$, а число произведенных ими ударов: $(n/2h) \cos\theta \sin\theta d\theta$.

Но согласно законам упругого удара действие стенки на молекулу состоит в том, что она отнимает у нее скорость $ucos\theta$ и потом возвращает ей ту же самую скорость, но в противоположном направлении, или же что она вновь сообщает молекуле в этом последнем направлении скорость $2ucos\theta$. Если мы обозначим массу одной молекулы через m , то сообщенное ей количество движения будет равно $2mucos\theta$, а количество движения, сообщенное всем молекулам в интервале от θ до $\theta+d\theta$ в течение одной секунды, составит $(nm^2/h) \cos^2\theta \sin\theta d\theta$. Проинтегрировав это выражение от $\theta=0$ до $\theta=\pi/2$, мы получим количество

творный исследователь в области теории теплоты Г. Гирн полемизирует против механической теории газов. Но Клаузиус тотчас же вслед за тем опроверг его возражения („Bull. de l'Acad. Belg." (3), XI, стр. 173, 1886; „Beiblätter zu Wied. Ann.", XI, стр. 218). О главной работе Гирна „Exposition analytique et expérimentale de théorie mécanique de la chaleur" (Paris et Colmar 1862), которая представляет большую ценность, в особенности благодаря своим экспериментальным основам, очень характерно отозвался Иохман („Die Fortschritte der Physik im Jahre 1862", стр. 299): „Далее, ясное понимание принципов в высокой степени затруднено тем обстоятельством, что автор планомерно избегает какого бы то ни было гипотетического взгляда на сущность теплоты".

ВЫЧИСЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ 211

движения, сообщенное стенкой всему газу: $ntu^2/3h$. Так как количество движения, сообщенное в единицу времени, представляет меру силы, то предыдущее выражение дает в то же время действие стенки на газ, или — так как действие и противодействие между собой равны — также давление газа на стенку. Следовательно, если обозначить площадь стенки через a , а объем сосуда, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, через v , то давление газа на единицу площади стенки выразится через $p=ntu^2/3ah$ или $p=ntu^2/v$. Для того чтобы обратно из этой формулы определить молекулярную скорость, положим вес газа равным q и примем во внимание, что $q/g=nm$; тогда мы получим для u выражение $u^2=3gpv/q$. В это выражение будет еще удобнее ввести плотность и температуру газа. Если в качестве единиц меры принять килограмм и метр, то для одного килограмма любого газа, находящегося под атмосферным давлением, будет $p=10\,333$, $q=1$ и $v=0,7733T/273\alpha$, если абсолютную температуру точки замерзания воды взять равною 273° , объем одного килограмма воздуха при атмосферном давлении и при температуре замерзания положить равным $0,7733\text{ см}^3$ и если через d обозначить плотность газа при 0° С , а через T — абсолютную его температуру. Введя затем вместо g его значение $9,80886$, получим для скорости молекулы газа при абсолютной температуре T выражение $u=485T/273d$, откуда для скоростей молекул кислорода, азота и водорода при температуре замерзания воды получаются соответственно следующие числа: 461 м , 492 м и 1844 м^1 .

Этот вывод скоростей частиц газа заключал в себе дальнейшую задачу. Действительно, вычисленная выше скорость газовых частиц представляет собою среднюю скорость, определенную в том предположении, что давление в сосуде одинаково по всем направлениям. Но выше было уже отмечено, что в действительности едва ли можно допустить, чтобы это условие было когда-нибудь выполнено; следовательно, возникает вопрос, насколько скорости отдельных молекул могут отклоняться от этих средних скоростей. Этот вопрос поставил и впервые разрешил Клерк Максвелл, который вслед за Клаузиусом усиленно занялся механической теорией теплоты и особенно успешно разработал ее с математической стороны. В своей работе 1860 года² он

¹ „Pogg. Ann.", С, стр. 370. Найденное Джоулем для водорода число 6055 английских фут.=1844,7 м почти в точности совпадает с числом, полученным Клаузиусом.

² „Illustrations of the dynamical theory of gases", Part. I: On the motions and collisions of perfectly elastic spheres, „Philosophical Magazine" (4), XIX, стр. 19, 1860; James Clerk Maxwell родился в 1831 г. близ Эдинбурга; проходил курс наук в Эдинбурге и Кембридже, в 1856 г. был профессором физики в Маришальском

212 ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

вывел названный по его имени закон, гласящий, что *распределение молекул по их скоростям выражается при помощи той же самой математической формулы, что и распределение эмпирических наблюдений по величине их ошибок, формула которых дается в теории ошибок наблюдения*. Поэтому, разумеется, и в каждом газе при совершенно равномерной температуре возможны самые разнообразные скорости; но чрезвычайно большие и чрезвычайно малые скорости имеют очень незначительную вероятность, большая же часть молекул движется со средними скоростями. *Средняя арифметическая* скорость, исчисленная по этому закону распределения молекулярных скоростей, несколько меньше, чем определенная Джоулем и Клаузиусом, а именно, $G = \sqrt{(8/3\pi)}^1$, если G обозначает первую скорость, а V вторую. Данное Максвеллом обоснование закона распределения молекулярных скоростей было признано не вполне безупречным ², так как оно опиралось на одно положение, которое само по себе еще требовало доказательства, но самый закон сохранил полную силу. В 1868 г. ³ Максвелл дал другое доказательство, исходя из другого положения; это доказательство было позднее еще дополнено Больцманом ⁴.

При вычислении давления газов и скорости движения их частиц Клаузиус мог совершенно пренебречь взаимными столкновениями последних, так как он предполагал молекулы газов абсолютно упругими. Однако для понимания молекулярного состояния газов и для опровержения возражений, выдвинутых по недоразумению против кинетической теории газов, эти столкновения составляли как раз весьма важный элемент, вследствие чего Клаузиус уже в следующем году после упомянутой выше работы обратился к определению *средней длины свободного пути молекул* ⁵. Здесь он опять-таки исходил из упрощенных условий. Он допустил, что в пространстве, заполненном неподвижными молекулами неравномерно, но повсюду одинаково плотно, движется всего только *одна молекула*. Для вероятной средней длины пути, который частица пробежит до столкновения ее с другой частицей, Клаузиус нашел величину $L = \lambda^3 / \pi s^2$, где λ обозначает среднее расстояние между

колледже в Абердине, в 1860 г. в Королевском колледже в Лондоне; с 1865 г. жил в качестве частного лица, пока в 1871 г. не был приглашен профессором физики в Кембридж, где и умер 5 ноября 1879 г.

¹ О. Е. Meyer, Kinetische Theorie der Gase, стр. 43, Breslau 1877.

² Там же, стр. 36.

³ „Philosophical Magazine" (4), XXXV, стр. 129 и 185.

⁴ „Studien über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen bewegten materiellen Punkten", „Wiener Sitzungsber.", LVIII, 2 отд., стр. 517, 1868. „Über das Gleichgewicht zwischen mehratomigen Gasmoleculen", „Wiener Sitzungsber.", LXIII, 2 отд., стр. 397 и 679, 1871; „Wiener Sitzungsber.", LXVI, стр. 213 и 274, 1872 и т. д. По поводу этого доказательства позднее между О. Мейером и Л. Больцманом завязалась полемика, с которой можно ознакомиться в „Wiener Sitzungsber.", LXXVI, 2 отд., стр. 373, 1877 и в „Wied. Ann.", VII, стр. 317; VIII стр. 653; X, стр. 296.

⁵ „Mittlere Länge der Wege, welche bei der Molecularbewegung gasförmiger Körper von den Moleculen zurückgelegt werden", „Pogg. Ann.", CV, стр. 239, 1858.

СРЕДНЯЯ ДЛИНА СВОБОДНОГО ПУТИ МОЛЕКУЛЫ 213

двумя соседними молекулами, а s — радиус сферы их действия ¹. Однако эта средняя длина пути становится меньше в том случае, когда не одна только частица, а все молекулы движутся равномерно. Допустив снова, что все частицы движутся с одинаковыми скоростями по всем направлениям, Клаузиус нашел, что вероятная средняя длина пути для этого случая движения всех частиц равна $\frac{3}{4}$ вычисленной выше ², т. е. $L = 3\lambda^3/4\pi s^2$. Но если допустить, что скорость движения различных молекул неодинакова, то, очевидно, для вероятной средней длины пути должна получиться другая величина. На основании изложенного выше закона распределения скоростей Максвелл ³, а затем иным путем О. Е. Мейер ⁴ вывели для вероятной средней длины пути формулу $L = (1/\sqrt{2})(\lambda^3/\pi s^2)$ ⁵. Во всяком случае, из обеих этих формул вытекала правильность следующей пропорции: «средняя длина пути одной молекулы так относится к радиусу сферы ее действия, как все занятое газом пространство относится к той части последнего, которое заполнено сферами действия всех молекул» ⁶. Последнего положения было достаточно для Клаузиуса, чтобы устранить большую часть возражений, выдвинутых против механической теории газов. А именно, очень многие выдающиеся физики сделали из механической теории газов тот вывод, что и в состоянии покоя каждый газ должен был бы проявлять

¹ Под *сферой действия* молекулы Клаузиус подразумевает описанную около центра тяжести молекулы сферу, до поверхности которой может дойти центр тяжести какой-нибудь другой молекулы до того момента, когда последняя отскочит („Pogg. Ann.", доп. том VII, стр. 243). Если представить себе молекулы в виде твердых шаров, которые могут приблизиться друг к другу только до соприкосновения своими поверхностями, то диаметр такой молекулы должен оказаться равным радиусу сферы действия у Клаузиуса.

² Доказательства последней формулы Клаузиус здесь еще не приводит, так как постоянный множитель $\frac{3}{4}$, по его мнению, здесь еще не имеет значения, но указывает, что это доказательство несложно.

³ „Philosophical Magazine" (4), XIX, стр. 19, 1860.

⁴ „Kinetische Theorie der Gase", стр. 118 и 294, Breslau 1877, а также „De gasorum theoria", Breslau 1866. О. Е. Мейер (родился в 1834 г.) — профессор физики в Бреславле.

⁵ Позднее („Wied. Ann.", X, стр. 92, 1880) Клаузиус о принятом им допущении равных молекулярных скоростей и полученном им при этом допущении множителя $\frac{3}{4}$ говорит следующее: „Так как этот случай был взят мною только для облегчения выводов, то я охотно признаю, что выведенная из максвелловского закона величина $\sqrt{1/2}$ — скорее отвечает действительности" (стр. 95).

По поводу других дальнейших возражений (Korteweg, „Arch. Néerlandaises des sciences", XII, стр. 241, 1877) он указывает, что эти формулы все-таки никак не могут быть точными, пока нельзя дать точного определения понятия сферы действия. „Пока у нас нет более точных данных о молекулах, — заканчивает он, — мне представляется наиболее целесообразным при определении средней длины пути довольствоваться некоторым приближением... Эта неточность попадает тогда в ту же категорию, что и отклонение газов от законов Мариотта и Гэ-Люссака и от других законов, имеющих силу для идеальных газов" (стр. 102). ⁶ „Pogg. Ann.", CV, стр. 250.

214 ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ГАЗОВ

необычайно быстрое движение и что, например, газовая частица должна была бы в течение одной секунды пробегать сотни раз пространство комнаты; однако последнее совершенно не согласуется с медленностью *диффузии* и незначительной *теплопроводностью* газов, равно как и с величиной *скорости звука в воздухе*. С помощью же найденного соотношения Клаузиус смог доказать, что хотя согласно новой теории газов скорость молекул и очень велика, но действительное движение их в силу взаимных столкновений ограничивается очень малым пространством, поэтому передача молекулярных движений внутри газов может быть всегда только сравнительно медленной¹. Для действительного *исчисления* длины свободного пути предыдущие формулы были, разумеется, недостаточны, так как они содержали в себе две невыясненные еще величины λ и s , — среднее расстояние между молекулами и радиус сферы действия. Численное определение абсолютной величины длины пути впервые произвел опять-таки Максвелл в упомянутой уже работе 1860 г. с помощью *коэффициента внутреннего трения газов*.

На *внутренние сопротивления при движении капельных жидкостей* уже давно обратили внимание, и еще Ньютон объяснял их известную вязкостью жидкостей; тем не менее, эти сопротивления долгое время не были более близко исследованы. Кулон² около 1803 г. придумал для определения таких сопротивлений особый прибор, состоявший из кружка, подвешенного горизонтально на нити, которая была прикреплена в его центре; кружок совершал в жидкости горизонтальные колебания около своего центра. Гаген³ и Пуазель⁴ около 1840 г. одинаково установили, что подобное сопротивление оказывается и при течении жидкостей по узким трубкам. Если у жидкостей эти сопротивления объяснялись, по-видимому, без особых затруднений некоторым сцеплением между движущимися друг около друга частицами жидкости, то для газов, у которых согласно прежним представлениям возможны только отталкивательные силы, подобные объяснения были совершенно невозможны; а между тем и здесь были открыты сопротивления внутрен-

¹ Бейс-Баллот („Pogg. Ann.", CIII, стр. 240, 1858) в защиту своей теории агрегатного состояния тел и в качестве возражения против механической теории газов указал на *медленное распространение дыма*, медленную *диффузию газов* и на существование *резкой границы атмосферы*. В частности, об отношении своей теории к теории Клаузиуса он говорит следующее („Pogg. Ann.", CIII, стр. 250). „Ясно, что и я при испарении допустил для первого мгновения прямолинейное движение, но только для одного мгновения; конечно, трудно допустить существование упорядоченной вибрации у газовых частиц, но все же я не могу согласиться с предположением постоянного прямолинейного движения. Если бы я захотел приблизиться к Клаузиусу, то я мог бы это сделать, присвоив газам тот род движения, который он допускает для жидкостей и согласно которому многие частицы должны двигаться навстречу другим частицам с постоянно изменяющеюся скоростью. Но одно прямолинейное движение представляется мне все же неприемлемым". Подобно Баллоту высказался против механической теории газов и Гоппе („Pogg. Ann.", CIV, стр. 279), а несколько позднее и Иохман („Pogg. Ann.", CVIII, стр. 153). Последний полагал, что скорость звука, равно как и законы движения газов, не может быть выведена из этой теории.

² „Exp. destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements très-lents", Mém. de l'Inst., III, An. IX.

³ „Pogg. Ann.", XLVI, стр. 423, 1839.

⁴ „Comptes rendus", XI, стр. 961, 1046; XII, стр. 112 и другие места.

ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ ГАЗОВ 215

ним движениям, которые, подобно упомянутым выше сопротивлениям в жидкостях, по-видимому, проистекали от внутреннего трения. Около 1829 г. Сэбин¹ показал, что замедления колебания маятника совершались не одинаково, в зависимости от того, происходили ли эти колебания в сосуде, наполненном при одном и том же давлении воздухом или водородом; эти замедления были непропорциональны плотности: в водороде они были сравнительно больше, чем в воздухе. Поэтому при вычислении колебаний маятника стали всегда вводить поправку на это замедление. Стокс² в 1851 г. доказал, что множитель, применяемый для таких поправок, соответствует внутреннему трению газов, и, введя этот множитель в уравнения движения, он получил вполне согласные результаты. Несколько раньше этого Грэхем³ наблюдал при истечении газов через капиллярные трубки сильные изменения скоростей, подобные изменениям, наблюдаемым в жидкостях Пуазелем и Гагеном; на основании этих явлений тоже можно было с уверенностью сделать заключение о наличии внутреннего трения в газах.

Все исследования над внутренним трением показали, что последнее происходит путем; передачи движения от движущихся частиц жидкости частицам, находящимся в покое, или же путем передачи движения от частиц, движущихся быстрее, частицам, движущимся медленнее. Но в то время как старая теория газов не могла дать удовлетворительного объяснения для такой передачи, последнее само собою вытекало из новой теории. Когда две струи газа движутся параллельно одна возле другой с различными скоростями, то вследствие хаотического беспорядочного движения молекул последние переходят из одной струи в другую. Так как молекулы при этом сохраняют свою начальную скорость, то молекулы более быстро движущейся струи ускоряют движение более медленной и обратно, — более быстрая струя замедляется в своем движении. Это замедление зависит от относительной скорости одного слоя газа по отношению к другому, и оно прямо пропорционально этой скорости. Сверх того на трение влияет еще и природа самой трущейся жидкости — оно, во всяком случае, тем больше, чем больше длина свободного пути молекул. Следовательно, трение газов F можно представить в виде произведения $F = \eta \cdot c$ относительной скорости c и некоторого множителя η , который выражает зависимость трения от природы жидкостей. Этот множитель называется *коэффициентом внутреннего трения*, и, как было уже указано, он должен зависеть от средней длины

пути молекул⁴. Максвелл вывел для него формулу $\eta = \frac{1}{3} dLu$, где

¹ „Phil. Trans.“, стр. 207, 1829.

² „On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums“, „Cambridge Soc. Trans.“, IX, ч. I, 1851; также в „Philosophical Magazine“ (4), I, стр. 337. Дюбюа-Нансе, по-видимому, пользовался понятием о внутреннем трении жидкостей уже в 1786 г. в своих „Principes d'hydraulique“; точно так же и Вентури в своих „Recherches s. 1. communication latérale du mouvement dans les fluides“, Paris 1797.

³ On the motion of gases, their effusion and transpiration“, „Phil. Trans.“, стр. 573, 1846 и стр. 349, 1849.

⁴ На пропорциональность между скоростью и внутренним трением указал уже Ньютон („Principia mathematica“ кн. II, отд. IX, 2-е издание, стр. 345):

216 КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ

d — плотность рассматриваемого газа, а L и u обозначают, как и прежде, среднюю длину пути и среднюю скорость молекул газа. Так как u было уже известно, а d могло быть легко измерено, то фактически оставалось только определить из опыта η , чтобы иметь возможность с помощью предыдущей формулы вычислить среднюю длину пути L ¹.

Такое опытное определение произвел в 1866 г. Максвелл² почти одновременно с О. Е. Мейером³ по найденному Кулоном методу. Максвелл, подобно Кулону, подвешивал в горизонтальном положении кружок на проволоке, прикрепленной в его центре; кручением проволоки этот кружок приводился в колебательное движение, которое совершалось около его центра в его собственной плоскости. Постепенное затухание возбужденных колебаний зависит при этом почти только от внутреннего трения того рода газа, в котором кружок колеблется, так как вследствие прилипания на кружке всегда остается тонкий слой газа, который, двигаясь вместе с кружком, трется о газ, находящийся в покое. Влияние возможного еще сверх того внешнего трения между кружком и газовым слоем может быть исключено в результате опытов с кружками различной величины. Эти опыты привели к поразительному результату, *что внутреннее трение не зависит от давления или плотности*. Последнее, разумеется, возможно только при том условии, что плотность d с возрастанием давления увеличивается как раз настолько, насколько при этом уменьшается длина свободного пути. Легко показать, что это именно так и должно быть; для этого следует в формулу для η подставить ранее полученную для L величину

$L = 3\lambda^3/4\pi s^2$; тогда $\eta = \frac{1}{4} d\lambda^3 u/\pi s^2$, или же, если заменить d через mN ,

„Соппротивление, возникающее вследствие недостаточной скользкости частей жидкости, при прочих равных условиях, пропорционально скорости, с какой части жидкости удаляются друг от друга". Строго говоря, об относительной скорости двух соседних слоев может быть речь только при внешнем трении различных веществ. Внутри однородной жидкости разности скоростей соседних слоев бесконечно малы и трение здесь может быть только определено как частное от деления этой бесконечно малой разности на бесконечно малое расстояние между пограничными слоями. Если нормаль к поверхности, на которой имеет место трение, обозначить через x , то внутреннее трение (отнесенное к единице поверхности) будет равно $F = \eta dc/dx$. Коэффициент η внутреннего трения есть, следовательно, то трение, которое имеет место на единице поверхности, когда в нормальном направлении к поверхности скорость на протяжении единицы длины изменяется на единицу скорости (ср. О. Е. Meyer, „Pogg. Ann.", CXIII, стр. 67 и „Kinetische Theorie der Gase", стр. 316).

¹ Так как, подобно трению, и *диффузия газов* должна зависеть от средней длины пути молекул, то приверженцы новой теории были вынуждены вывести и закон последней непосредственно из новых гипотез. Этим занялся Максвелл во второй части своей работы 1860 г. („Illustrations of the dynamical theory of gases"; part. II: On the process of division of two or more kinds of moving particles among on another, „Philosophical Magazine" (4), XX, стр. 21); теорию диффузии на основе своей более поздней гипотезы о природе молекул газа он дал в 1868 г. („Philosophical Magazine" (4), XXXV, стр. 199).

² „Phil. Trans." стр. 249, 1866.

³ „Pogg. Ann.", CXXV, стр. 177, 401 и 564, 1866.

КОЭФФИЦИЕНТ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ 217

где m — молекулярный вес, а N — число молекул в единице объема, получается $\eta = \frac{1}{4} m N \lambda^3 u / \pi s^2$, или же, так как, очевидно, $N / \lambda^3 = 1$,

$\eta = \frac{1}{4} m u / \pi s^2$ Последнее выражение уже не содержит плотности. Для того чтобы еще больше подкрепить этот результат, а вместе с тем и правильность формулы для коэффициента, О. Е. Мейер¹ в своей второй работе вычислил коэффициенты внутреннего трения из упомянутого уже ряда опытов, которые в 1846 и 1849 гг. Грэхем произвел над *вытеканием газов через капиллярные трубки*. Результаты этих расчетов тоже оказались в достаточном согласии с данными последнего исследования.

Но вычислив с помощью коэффициента внутреннего трения из формулы $\eta = \frac{1}{3} d L u$ среднюю длину свободного пути молекулы, можно тотчас же, путем деления скорости молекулы на длину свободного пути, определить и *число столкновений одной молекулы с другими в течение одной секунды*. Эти константы кинетической теории газов О. Е. Мейер собрал в 1877 г. в одной таблице, которую мы частично здесь и приводим².

Един.: см и сек. Темп.: 20° С Давление: 760 мм рт. ст.	Коэф- фици- ент трения	Длина пути	Число столкно- вений в млн.	Молеку- лярный вес
Водород	0,000093	0,00001855	9480	2
Светильный газ	0,000120	0,00000848	7330	15,97
Аммиак	0,000108	0,00000737	8130	17,01
Окись углерода	0,000184	0,00000985	4780	27,93
Этилен	0,000109	0,00000582	8060	27,94
Азот	0,000184	0,00000986	4760	28,02
Окись азота	0,000186	0,00000959	4735	29,97
Кислород	0,000212	0,00001059	4065	31,92
Сероводород	0,000130	0,00000628	6750	33,98
Хлороводород	0,000156	0,00000734	5650	36,37
Угловая кислота	0,000160	0,00000680	5510	43,89

Приведенные результаты показали, что на основе новейшей теории теплоты, по крайней мере, газообразное состояние материи могло быть объяснено чисто кинетически, без всякого участия элементарных молекулярных сил. Отталкивательная сила была заменена живою силою движения, а притягательная — взаимными столкновениями частиц, которые, совершенно так же, как прежде притяжение, поддерживали моле-

¹ „Pogg. Ann.", CXXVII, стр. 253 и 353, 1866.

² „Kinetische Theorie der Gase", стр. 142.

218 НОВАЯ ГИПОТЕЗА МАКСВЕЛЛА О ДЕЙСТВИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ

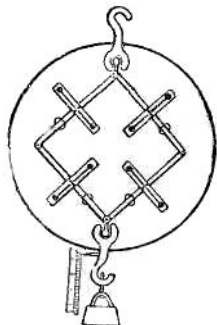
кулы в их колебаниях около некоторого среднего положения. Разумеется, все это имеет силу только для идеальных газов, для реальных же газов приходилось пока сохранить действие элементарных притягательных сил. Однако и по отношению к идеальным газам теория не была еще свободна от всех трудностей, и как раз один из ее наиболее ревностных защитников, Максвелл, в конце концов, стал склоняться к мысли, что и здесь нельзя обойтись без отталкивательной силы частиц. Согласно его формуле $\eta = \frac{1}{3}dLu$, внутреннее трение прямо пропорционально молекулярной скорости u , а вместе с тем и квадратному корню из живой силы молекул, или также квадратному корню из абсолютной температуры газа, — в том, однако, предположении, что длина пути не зависит от температуры, так как в противном случае внутреннее трение могло бы возрастать в большем отношении, чем квадратный корень из температуры. Максвелл, действительно, считал необходимым допустить независимость средней длины пути от температуры; но так как последующие измерения внутреннего трения газов указывали как будто на возрастание последнего просто пропорционально температуре, то Максвелл пришел к убеждению, что отстаивавшаяся им до сих пор теория газов не может быть сохранена в прежнем своем виде. В своей работе 1866 г.¹ Максвелл отказался от идеи полной свободы движений газовых молекул и вместе с тем совершенно отказался от своих прежних теоретических основ. После этого он построил свой математический вывод движений молекул газа на гипотезе, что между молекулами газа действует сила отталкивания, величина которой обратно пропорциональна пятой степени расстояния. В этом Максвелл разошелся с другими исследователями в данной области, не добившись в то же время полного признания со стороны остальных физиков. О. Е. Мейер в своей «Кинетической теории газов»² говорит об указанном допущении Максвелла: «Я, пожалуй, присоединился бы к такому воззрению, которое мгновенно действующие силы удара прежней теории заменило бы постоянно действующими силами, заметными только на очень малом расстоянии; но я не могу присоединиться к новой точке зрения Максвелла и не вижу к тому никаких оснований. Во-первых, выведенный им из собственных наблюдений закон совершенно неверен для исследованных им постоянных газов; согласно данным Обермайера и Пулуя он верен приблизительно только для некоторых способных к сгущению газов. Во-вторых, — и это является наиболее важным соображением, — новая теория Максвелла, принимающая для отталкивательных сил закон уменьшения в обратном отношении пятой степени расстояний, включает в себе внутреннее противоречие, так как согласно этой гипотезе величина действующей силы не становится ничтожно малой, когда расстояние достигает некоторой конечной величины. Таким образом, молекулы, находясь постоянно под влиянием действующих на расстоянии сил, не могут в промежутке между двумя

¹ „Philosophical Magazine" (4), XXXII, стр. 390, 1866; там же, XXXV, стр. 129 и 185, 1868.

² „Kinetische Theorie der Gase", стр. 161, Breslau 1877.

НОВАЯ ГИПОТЕЗА МАКСВЕЛЛА О ДЕЙСТВИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИЛ 219

столкновениями двигаться ни по инерции, ни прямолинейно; но тогда неверен и... закон распределения скоростей Максвелла. Одним словом, тогда рушится вся эта теория. В-третьих, новая гипотеза Максвелла противоречит не только данной теории, но и опыту. Джоуль и Томсон экспериментальным путем доказали, что между частицами газа действуют притягательные силы, а не отталкивательные. Поэтому всякую теорию, исходящую из гипотезы о молекулярном отталкивании, следует сразу же отвергнуть». Действительно, Джоуль и Томсон в общих своих работах, проведенных в 1853 и 1854 гг.¹, пришли к тому выводу, что хотя между молекулами газа и проявляется некоторая сила, действующая на расстоянии, но что эта *сила сцепления* имеет почти исчезающе малую величину. У. Томсон² в ряде своих работ до новейшего времени пытался свести отталкивательные и упругие силы не только в газах, но также и в жидкостях и твердых телах к живым силам движений, что же касается сил притяжения, то Томсону не удалось решить, следует ли рассматривать эти силы как элементарные или тоже как производные. Вопреки новому взгляду Максвелла приверженцы новейшей теории газов большею частью остались на той точке зрения, что, по крайней мере, отталкивательные силы газов следует выводить только из движения молекул. Хотя Больцман вначале примкнул, было к Максвеллу и воспользовался его законом взаимодействия в своих исследованиях о тепловом равновесии газовых частиц³, однако в одной из позднейших работ⁴ он указывает, что с наблюдаемыми фактами можно было бы согласовать *целый ряд* различных допущений об основных молекулярных силах, что хотя допущение упругих атомов равносильно допущению отталкивающих сил, но что на основе допущения между молекулами одних только притягательных сил можно было бы так же хорошо объяснить известные явления, как и допустив одни только отталкивательные силы; в конце концов, он



Черт. 7.

¹ „On the Thermal Effects of Fluids in Motion“, „Phil. Trans.“, стр. 357, 1853 и стр. 321, 1854.

² „S. Steps towards a kinetic theory of matter“, „Nature“, XXX, стр. 417, 1884. В этой статье Томсон описывает, между прочим, модель пружинных весов, в которых упругая сила пружины заменена инерцией вращающихся маховых колес (см. приложенный чертёж 7 из „Nature“ XXX, стр. 419).

³ „Wiener Sitzungsber.“, LXVI, стр. 213: „Über das Wirkungsgesetz der Molecularkräfte“, см. также LXVI, стр. 273 и т. д.

⁴ „Wied. Ann.“, XXIV, стр. 37. 1885: „Über die Möglichkeit der Begründung der kinetischen Gastheorie auf anziehende Kräfte allein“. Больцман говорит там (стр. 38): „Этот закон взаимодействия (закон Максвелла), вероятно, столь же мало отвечает действительному закону природы, как и закон взаимодействия упругих шаров... Мне казалось, однако, бесполезным разработать представление о газообразном состоянии вещества на основе еще других и по возможности разнообразных допущений, чтобы тогда иметь возможность решить, какое представление больше всего подходит к реальным молекулам, которые, несомненно, представляют собою очень сложные индивиды“.

220 ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛ ЛОШМИДТОМ

приходит к заключению, что первое допущение, пожалуй, даже имеет преимущество перед последним.

После определения скорости и длины свободного пути газовых частиц кинетической теории газов оставалось еще определить *величину* молекул и *их число* в каком-нибудь заданном объеме. Первую попытку определения величины молекулы сделал Лошмидт¹ в 1865 г. Если величину $(D^2/4)L\pi$ (где D и L по-прежнему обозначают диаметр и длину свободного пути молекулы) назвать *молекулярным объемом пути*, а частное от деления объема, занимаемого газом, на число заключающихся в нем молекул — *молекулярным объемом газа*, то легко показать, что первый объем может составлять только $^{3/16}$ второго. А именно, согласно формуле Клаузиуса $L = \frac{3}{4} \cdot \frac{\lambda^3}{\pi D^2}$ ², следовательно, весь объем пути всех N молекул газа, содержащихся в единице объема, выразится через

$$\frac{D^2}{4} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{\lambda^3}{\pi D^2} \cdot \pi \cdot N$$

; отношение же всего объема пути ко всему объему газа в единице объема будет равно $^{3/16}N\lambda^3:1$ или, так как аналогично предыдущему $N\lambda^3=1$ ³, рассматриваемое отношение будет равно $^{3/16}:1$. Действительный объем $D^3\pi/6$ одной газовой молекулы, конечно, меньше ее молекулярного объема. Допустив, что v есть то число, на которое надо умножить последний объем, чтобы определить первый, мы получим возможность выразить молекулярный объем газа двояким способом, а из полученного таким образом уравнения

$$v \cdot \frac{16}{3} \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot \pi = \frac{D^3}{6} \cdot \pi$$

следует, что $D=8vL$. Число v Лошмидт назвал *множителем сгущения* рассматриваемого газа. Если допустить, что в жидком состоянии молекулы непосредственно соприкасаются друг с другом, то множитель сгущения может быть определен из отношения плотностей вещества в газообразном и жидком состояниях, и тогда отсюда может быть вычислено D . Конечно, при этом возможно, что и в жидком состоянии молекулы все еще находятся друг от друга на некотором расстоянии и что поэтому полученные для диаметров величины дают только предельное значение, а именно, их верхний предел. Лошмидт располагал в то время только данными о средней длине пути частиц атмосферного воздуха, но для последнего, так как воздух не мог быть сгущен, нельзя было вычислить коэффициента сгущения. Однако Лошмидту удалось

¹ „Zur Grösse der Luftmolecüle“, „Wiener Sitzungsberichte“, LII, 2 отдел, стр. 395, 1866. J. Loschmidt (родился в 1821 г.) — профессор физики Венского университета.

² См. стр. 213.

³ См. стр. 217.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧИСЛА И РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛ ЛОШМИДТОМ 221

косвенным путем определить его величину в $1/1555$, и тогда для диаметра молекулы воздуха он получил величину $0,00000118$ мм. Позднее, когда уже были определены средние величины свободного пути молекул для большого числа веществ, можно было вычислить и размеры их молекул; О. Е. Мейер в своей «Кинетической теории газов» дал следующие вычисленные по методу Лошмидта числа ¹.

	Плотность		Множи- тель сгущения ν	Диаметр молекулы D в миллион- ных долях миллиметра
	в газо- образном состоянии	в жид- ком со- стоянии		
Вода	0,6235	1	0,00081	0,44
Аммиак	0,5967	0,6502	0,00119	0,45
Сероводород	1,1912	0,9	0,00168	0,89
Угольная кислота	1,5291	0,9985	0,00198	1,14
Закись азота	1,5204	0,9646	0,00204	1,18
Циан	1,8064	0,866	0,00270	0,96
Сернистая кислота	2,247	1,49	0,00195	0,80
Хлор	2,450	1,33	0,00238	0,96 ²

Приведенные здесь значения диаметров частиц следует, как уже было указано, рассматривать как верхние пределы этих величин. Действительную величину этих диаметров впервые попытался определить ван-дер-Ваальс ³, исходивший при этом из положения, что *отклонения газов от закона Мариотта* зависят, главным образом, от величины их молекул, и постаравшийся, обратно, вычислить эти величины из указанных отклонений. Другой путь для осуществления той же цели избрал Дорн ⁴, который постарался вывести размеры молекул из диэлектрических постоянных рассматриваемых веществ. Данные им числа, приведенные ниже, хорошо согласуются с числами, полученными

¹ „Kinetische Theorie der Gase“, стр. 226, Breslau 1877. Было бы как будто осторожнее брать здесь вместо диаметра молекулы радиус сферы действия, по примеру Клаузиуса, т. е. брать наименьшее расстояние, на которое могут сблизиться центры тяжести молекул. Но так как абсолютным препятствием для проникновения материи в какое-либо пространство мы можем считать лишь его заполненность другой материей, то понятие о сфере действия фактически совпадает с понятием о заполненном веществе пространстве.

² О. Мейер („Kinetische Theorie der Gase“, стр. 234) сравнивает это число с данными, полученными раньше совершенно иным путем Фарадеем, Плато, Квинке, Томсоном и другими для предельных значений размеров молекул, и находит, что ни одно из этих значений не противоречит числам, приведенным в таблице, а некоторые их даже хорошо подтверждают.

³ „Over de continuïteit van den gasen vloeistofoestand“, Leiden 1873; извлечение в „Beibl. zu Pogg. Ann.“, I, стр. 10, 1877.

⁴ „Wiedem. Ann.“, XIII, стр. 378, 1881. — Е. Дорн (родился в 1848 г.) — профессор университета в Галле.

222 РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ ГАЗА

ван-дер-Вальсом, и — как следовало ожидать — значительно меньше чисел, вычисленных Мейером.

	Формула	$D \cdot 10^7$ по Дорну в мм	$D \cdot 10^7$ по ван-дер-Вальсу
Атмосферный воздух . .		1,6	3,0
Угловая кислота . . .	CO ₂	1,8	1,8
Водород	H ₂	1,4	1,4
Закись азота	N ₂ O	1,8	
Сернистая кислота . . .	SO ₂	6,9	

Наконец, число молекул и их взаимное расстояние можно было вычислить с такой же точностью, как и их размер. О. Е. Мейер дает для числа молекул в 1 см³ величину $N=21$ триллиону, а для расстояния между двумя соседними молекулами число λ , равное 3—4 миллионным долям миллиметра; согласно закону Авогадро приведенные числа одинаковы для всех газов ¹.

Возникновение и развитие кинетической теории газов носят на себе своеобразный отпечаток. По существу, выйдя совершенно из границ господствовавшей еще ньютоновской физики, эта теория по внешности полностью сохранила облик последней; и хотя она объясняла все явления только на основе движения, однако наряду с этим она оставляла нетронутыми (в особенности вне своей области) и старые первичные силы напряжения. Таким образом, с одной стороны, весь этот переворот терял как будто свой революционный характер и этим облегчалось его всеобщее признание, но, с другой стороны, — ослаблялось то влияние, которое новое воззрение могло бы оказать на остальные отрасли физики, и совершенно оставалось на произвол судьбы единство взгляда, как на материю, так и на силу.

Такое преобразование в узком кругу, такое созревание новшества в пределах специальной области является типичным для всей новейшей физики. Этим, несомненно, достигается та большая выгода, что всякая возможная неудача распространяется только на небольшие части науки, не потрясая целого, и что принципиальное новшество, прежде чем оно получит право предъявить притязания на всеобщее признание, проводится сначала в легко обозримой области. Однако в этом кроется, по меньшей мере, и та невыгода, что различные отрасли физики разрабатываются на разные лады, в результате чего может получиться разрыв научной связи между отдельными областями науки: приступающий к изучению науки получает в одной ее области указания на такие пути и создает себе такие представления, которые в другой области для него закрыты и совершенно воспрещены. Это новейшее направление, конечно, полезно в том отношении, что оно отнимает

¹ „Kinetische Theorie der Gase“, стр. 232, 1877.

ВВЕДЕНИЕ ПОНЯТИЯ ЭНЕРГИИ 223

почву у споров и обеспечивает мир, но, с другой стороны, — оно вредно в том отношении, что не только отрывает друг от друга научные дисциплины, но и вносит такое отчуждение в среду научных работников, что зачастую устраняется возможность взаимного понимания между отдельными группами физиков.

Конечно, эта характеристика относится не ко всем новейшим физикам. После того как был установлен закон сохранения силы, и механическая теория тепла стала развиваться на новых основаниях, некоторыми физиками были приложены очень серьезные усилия к тому, чтобы переработать весь научный кругозор соответственно новым идеям. Это преобразование имело своей конечной целью устранение всех элементарных первичных сил материи, или, вернее, сведение последних к первоначальным внутренним движениям материи. Но так как провести подобное устранение или сведение в полной строгости для всей физики в настоящее время оказалось еще невозможным, то этой цели пытались достичь окольным путем. Старались охватить все наглядные, доступные нашим чувствам движения и распределить их по управляющим ими законам, оставляя в стороне элементарные или конечные причины этих движений, все равно, будь то первичные силы или первичные движения. Это был старый чисто ньютоновский прием, и к нему прибегли раньше всех англичане, эти истинные наследники своего великого соотечественника.

Закон сохранения силы относится не к воображаемым элементарным качествам материи, которые в старом духе рассматривают как силы, определяющие материю, а лишь к количественно определенной работоспособности, которую в состоянии проявить какое-либо тело в силу своего положения и окружающих его условий. Для этой вполне определенной работоспособности Т. Юнг¹ уже в 1807 г. предложил название *энергии*, не обратившее, однако, на себя тогда внимания. Теперь представлялось как раз своевременным воспользоваться предложенным Юнгом названием, оставив двусмысленное понятие силы исключительно для обозначения элементарных свойств материи, и переименовать закон сохранения силы в *закон сохранения энергии*. Однако применение термина «энергия» потребовало некоторого обобщения самого понятия о ней; Юнг применил это слово только в *механическом* смысле и под *анергией* подразумевал работоспособность движущихся масс, которая легко измеряется произведением массы на квадрат скорости. Теперь же необходимо было истолковать это понятие также с *общефизической* точки зрения и применить его также и к телам, находящимся в покое, работоспособность которых обычно обозначали только косвенно, как действие притяжения масс, электрических сил и т. д. Это было сделано Ранкином еще в 1853 г. в совершенно общем виде и с ясным сознанием вытекающих отсюда важных последствий. В своей работе «On the general law of the transformation of energy» («Об общем законе преобразования энергии») ² он, дал следующие вполне исчерпывающие определения. *Энергия — это всякое свой-*

¹ „Lectures on natural philosophy", I, стр. 79, London 1808.

² „Philosophical Magazine" (4), V, стр. 106, 1853.

224 ИСКЛЮЧЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИЛЫ

ство вещества, которое представляет собой силу или сравнимо с силой, способной производить изменения, сопровождающиеся преодолением сопротивлений. Действующая энергия есть измеримое и передаваемое или превратимое свойство, присутствие которого в веществе вызывает в нем стремление изменить свое состояние в одном или нескольких отношениях. При наступлении этих изменений действующая энергия исчезает и заменяется потенциальной энергией ¹, которая измеряется величиной изменения в состоянии вещества, в связи с величиной того стремления или силы, благодаря которой это изменение произошло. После этого Ранкин выразил закон сохранения энергии в следующей форме: сумма всей энергии (потенциальной и кинетической) во вселенной остается неизменной. Два года спустя Ранкин ² определенно указал, что цель этих новых определений заключалась в том, чтобы взамен лишь гипотетических атомов и их сил дать новые отвлеченные понятия, которые не содержали бы в себе ничего гипотетического и были бы выведены непосредственно из фактов.

Эти новые понятия вскоре нашли всеобщее признание. Готовность, с которой они были приняты и применены на деле, ясно указывает, что тогда действительно уже не знали, что делать со старыми понятиями об элементарных силах, и сочли полезным их совершенно отбросить. В Англии У. Томсон, который, впрочем, и раньше применял понятие энергии, с этих пор в своих работах стал употреблять исключительно терминологию Ранкина; за ним вскоре в этом отношении последовал Клерк Максвелл. В Германии Гельмгольц ³ в своих отзывах о статьях Ранкина рекомендовал его определения как «удачно выбранные», хотя и не считал возможным разделить его основных философских воззрений ⁴. Клаузиус также прямо перешел к применению новых идей, после чего последние пробили себе путь и в Германии, хотя, правда, медленнее, чем в Англии ⁵. В 1870 г. известный английский физик Бальфур Стюарт в кратком учебнике ⁶ (которому он предпослал главу о механической силе) представил все явления природы как действия одного и того же начала — энергии, — проявляющегося в различных формах. В 1873 г. выдающийся английский математик Клиффорд попытался даже совершенно покончить со старым призраком силы в пользу нового понятия об энергии ⁷. Все, что мы знаем о силе и движении, — говорит Клиф-

¹ Ранкин сам указывает, что понятие *потенциальной энергии* применял уже Сади Карно, правда, — только в области механики, под термином *force vive virtuelle* (возможная живая сила) („Phil. Mag." (4), XXVIII, стр. 404).

² „The Edinburgh new philosophical Journal" (2), II, стр. 120, 1855: „Outlines of the science of energetics".

³ „Fortschritte der Physik", IX, стр. 407. Гельмгольц при этом отмечает, что понятия *энергия*, *действующая* и *потенциальная энергия* тождественны с понятиями *величины работы*, *живой силы* и *количества сил напряжения*, примененными им в его работе о сохранении силы.

⁴ „Fortschritte der Physik", XI, стр. 365.

⁵ В широко распространенном в свое время учебнике физики Эйзенлора, в издании 1863 г. слово *энергия* еще не встречается.

⁶ „Kurzes Lehrbuch der Physik" von Balfour Stewart, übers, von Rob. Schenk, Braunschweig 1872.

⁷ „Nature", XXII, стр. 122, 1873. W. K. Clifford (1845—1879) — профессор прикладной математики в Лондонском университетском колледже.

ИСКЛЮЧЕНИЕ ПОНЯТИЯ СИЛЫ 225

форд, — сводится к тому, что известная группировка окружающих тел вызывает известное изменение в движении тела. Обычно принято говорить, что такое-то расположение окружающих тел обуславливает появление известной силы. Но к чему вообще этот промежуточный член? *Почему мы сразу не переходим от окружающих тел к вызываемым ими изменениям в состоянии движения? Если мы только привыкнем переходить прямо от одного к другому без посредства втиснутого сюда понятия о силе, то последнее должно будет исчезнуть и подобно другим бесполезным понятиям постепенно перейдет в область забвения; вместе с тем исчезнет и тенденция присваивать этому призраку столь реальные и материальные свойства, как, например, неразрушимость.*

Стремления исключить понятие силы и заменить его понятием ограниченной работоспособности — энергии — представляли собой возврат от точки зрения, которой придерживались в течение 200 лет ученики Ньютона, к действительному, неискаженному воззрению их учителя, как оно было им высказано в многократно цитировавшемся, но столь же часто забывавшемся его выражении: «гипотез я не строю». Поколению физиков, настроенных критически под влиянием краха старой теории, это воззрение представлялось особенно надежным и плодотворным, и вот большая часть физики стала поразительно быстро развиваться преимущественно в этом направлении на основе закона сохранения энергии.

Математическая физика нашла в понятии об ограниченной работоспособности или энергии чрезвычайно удобную основу для своих формальных выводов и с помощью понятия потенциала, столь тесно связанного с понятием энергии, она завоевала почти всю область физики, из которой в начале нашего столетия ее рассмотрению подлежали только механика, отдельные части оптики и небольшие части учения о теплоте и акустике. Даже *экспериментальная физика*, особенно в области электричества, скоро научилась предпочитать новые понятия старым, так что и для физиков-экспериментаторов прежние элементарные силы, по сравнению с понятиями о работе и потенциале, вскоре утратили почти всю свою привлекательность.

После того как был устранен вопрос о причинах явлений, *умозрение*, или философское исследование, по-видимому, утратило в нашей науке всякую почву, — тем более что успехи двух других методических факторов отнимали у него право на какое бы то ни было признание. Но это только так казалось.

Как настойчиво ни утверждали многие физики о полной достаточности для науки нового физического понятия энергии, однако это, с другой стороны, не, могло помешать возникновению вопроса о *причинах* работоспособности. Но так как причину любой кинетической энергии можно было легко найти в другой кинетической же или потенциальной энергии, то, прежде всего, возник вопрос об *источнике потенциальной энергии*. А так как во многих уже случаях мнимые потенциальные энергии, например световую и тепловую, удавалось свести к кинетическим энергиям движения атомов, то возникла надежда, что таким же образом теперь удастся объяснить и все прочие виды энергии. Скорее всего, этого можно было ожидать для электричества. Однако

226 СТАРЫЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРИЧИНАХ ТЯГОТЕНИЯ

мы уже видели в предыдущем периоде, что постановка такой задачи была гораздо легче ее разрешения, и, действительно, до настоящего времени еще не удалось указать таких движений атомов эфира или весомой материи, из которых можно было бы вывести особенности электрических явлений и, прежде всего их полярность. Поэтому не оставалось ничего другого, как обратиться с вопросом об источнике сил к той силе, действия которой наиболее широко охватывают всю природу и кинетическое объяснение которой обещало стать наиболее плодотворным, а именно к силе тяготения. Так как тяжесть присуща всякой видимой и осязаемой материи, представляя в то же время наиболее надежную и даже единственную меру для количества всякой материи, то вопрос о тяготении находился, по-видимому, в тесной связи с вопросом о строении материи, и теория последнего представлялась связанной, прежде всего с исследованием первого. Вследствие этого старый и с давних пор запретный для ньютоновской школы вопрос о причине тяготения был в настоящее время вновь поднят, но уже не философами-материалистами, как раньше, а философствующими физиками, что, конечно, послужило ему не во вред.

Первым из этих физиков был Джон Герапат¹, который в упомянутых уже работах 1821 и 1847 гг. свел и тяготение к тепловым движениям тел. Согласно его воззрению каждое теплое тело вследствие своей теплоты проявляет по отношению к окружающей его более холодной среде такого рода отталкивательную силу, что вблизи него среда разрежается, а далее, по мере увеличения расстояния, она становится все более плотной. Вследствие этого возникает давление эфира, направленное извне по направлению к центру. Пусть два плотных тела находятся в более разреженной среде, и более теплое из них посылает теплоту более холодному. Ввиду того, что плотное тело поглощает больше тепла, чем окружающая легкая среда, на стороне второго тела, обращенной к теплоту, эфир окажется разреженным, а на противоположной стороне он сгустится. Образовавшаяся таким образом разность давлений будет толкать второе тело по направлению к первому и создаст видимость как бы притяжения теплым телом более холодного. Однако невероятно, чтобы разность температуры в теле вызывала и разность давления, так как эфир при своем тепловом разрежении приобретает взамен этого большую упругость; впрочем, если даже и допустить возможность этой разности давления, было бы трудно доказать, что для нее имеют силу законы Ньютона.

В 1849 г. Ф. Бушепорн попытался объяснить все движения тел. и особенно движения небесных тел, без помощи сил, действующих на расстоянии, а с помощью собственных движений тел в сопротивляющейся эфирной среде, но опять-таки — без заметного успеха².

¹ „Thomson's Annals of Philosophy", XVII, 1821 г.; „Mathematical Physics", London 1847.

² „Recherches sur les lois de physique considérées comme des conséquences des seules propriétés essentielles de la matière, l'impénétrabilité et l'inertie", „Comptes rendus", XXIX, стр. 107, 1849. „Не является ли движение в сопротивляющейся среде, — говорит Бушепорн, — условием и причиной всеобщего тяготения? Все притягивающие и отталкивающие тела находятся в движении,

СТАРЫЕ ГИПОТЕЗЫ О ПРИЧИНАХ ТЯГОТЕНИЯ 227

В 1852 г. Г. Ламе¹, не выдвигая никакой определенной теории, с большой определенностью высказался в пользу кинетического объяснения физических сил. «Существование некоторой эфирно-жидкой среды, — говорит он, — неоспоримо доказано... Если эта жидкость и не является единственным источником всех наблюдаемых явлений, то она, по меньшей мере, должна их видоизменять, способствовать их передаче и осложнять их законы. Без допущения этого агента, присутствие которого неизбежно, невозможно достичь полного и рационального объяснения явлений физической природы. Нет сомнения, что такое допущение, умело проведенное, позволит открыть тайну или истинную причину тех эффектов, которые приписываются теплоте, электричеству, магнетизму, всеобщему тяготению, сцеплению и химическим силам, так как все эти таинственные и непонятные сущности в действительности являются только целесообразными гипотезами, которые, несомненно, полезны при настоящем нашем неведении, но должны: исчезнуть в результате успехов истинного знания».

В 1858 г. Уотерстон присоединился к последним идеям Фарадея о *материальности пространства* и приписал непосредственно последнему силы, действующие в каждой его точке².

С 1859 г. Челлис³ начал теоретически разрабатывать *волнообразную теорию тяготения*. Согласно последней физические силы имеют своим источником движение упругой непрерывно заполняющей все пространство среды, которую мы называем эфиром. Если на пути эфирных волн попадает совершенно гладкий шар, то в случае, когда ширина волн весьма мала по сравнению с диаметром шара, последний движется в направлении распространения волн и, наоборот, когда ширина волн весьма велика, шар движется в противоположном направлении. В первом случае получается видимость отталкивания, во втором — притяжения по направлению к месту возникновения волн.

как это теперь выяснилось и относительно солнца. Когда тело *A* движется, то эфир, устремляющийся в оставленное телом пространство, вызывает во всех частях жидкости некоторого рода тягу (aspiration) по направлению к точке, которую только что оставил центр тела. Каждое другое тело *B*, получающее со стороны, обращенной к *A*, эти присасывающие волны, теряет тогда полностью или частично свое собственное давление (pression propre); половина давления, $\frac{1}{2}nv$, действующая с противоположной стороны, уже более не уравнивается противодействующим давлением, и тело *B* движется по направлению к *A*". Д-р Кремерс в „Fortschr. der Physik", V, стр. 18, говорит об этой работе Бушепорна следующее: „Ближайшее рассмотрение доказательств, приведенных в пользу этого воззрения, было бы, пожалуй, излишним уже потому, что это воззрение не ново, а также и потому, что оно отнимает у материи нечто такое, что одно только может обусловить гармонию".

¹ Из „Leçons s. l. théorie math. de l'élasticité d. corps solides" (Paris 1852), по „Pogg. Ann.", доп. том VI, стр. 97. Gabriel Lamé (1793—1870) — профессор Парижского университета.

² „Philosophical Magazine" (4), XV, стр. 329. И. Шлезингер („Substantielle Wesenheit des Raumes und der Kraft", Wien 1885. „Die geistige Mechanik der Natur", Leipzig 1888) вновь вернулся к этому представлению, но, как показывает последнее его сочинение, скорее из *спиритических*, чем физических, соображений.

³ „Philosophical Magazine" (4), XVIII, стр. 321 и 442, 1859; XIX, стр. 89, 1860 и сл. Также „Principles of Mathematics and Physics", Cambridge 1869.

228 АКУСТИЧЕСКОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ

Отталкивание действует обратно пропорционально четвертой, а притяжение — второй степени расстояния.

Эти все чаще появляющиеся теперь волнообразные теории сил имели некоторое опытное основание в так называемом *акустическом отталкивании и притяжении*, впервые воспроизведенном Гюйо в 1834 г.¹ Гюйо подвесил на нитке вблизи поперечно колеблющегося стержня маленький бумажный квадратик и установил, что всякий раз, когда плоскость бумажного квадратика была параллельна плоскости колебаний стержня, квадратик притягивался и, наоборот, когда обе плоскости были перпендикулярны друг к другу, он отталкивался. Эти явления были заметны еще на расстоянии девяти линий. После работ Челлиса и Гюйо обратился к тем же идеям, и в 1861 г.² он объяснил все притяжения и отталкивания между весомыми телами происходящими между ними сгущениями и разрежениями эфира, вызываемыми поперечными колебаниями последнего. Шельбах в 1870³, из наблюдений над наполненным газом шаром, помещенным в звучащем воздухе, вывел закон, что звуковые колебания упругой среды увлекают тела с большим удельным весом к центру колебаний и отталкивают от него тела с меньшим удельным весом. Наконец, Дворак в 1878 г.⁴ доказал, что при известных условиях резонаторы отталкиваются от источников звука, и устроил даже акустическое вращающееся колесо. Таким образом, опять-таки пришли к силам поступательного движения, вызываемым волнообразными движениями, о которых у нас речь будет ниже. В 1863 г. Ф. и Эм. Келлер⁵, а в 1869 г. Лекок де-Буабодран⁶ пытались объяснить тяготение не поперечными, а *продольными колебаниями эфира*. По Буабодрану доходящие до весомай материи продольные колебания эфира частью превращаются в поперечные световые или тепловые колебания и потому становятся по своему действию слабее вновь прибывающих продольных колебаний. Так как в промежутке между двумя весомыми атомами это ослабление бывает сильнее, чем в прочих тестах, то под влиянием внешних эфирных колебаний атомы сближаются между собой как бы под действием некоторой притягательной силы. Пушль⁷ пришел к выводу, что попадающие на тело эфирные колебания, в зависимости от рода последних, вызывают различные силы, а именно: поперечные колебания, как увеличивающие расстояния

¹ „Ann. de chim. et de phys." (2), LV, стр. 200, 1834, „Pogg. Ann.", XXXI, стр. 640, 1834; „Des mouvements de l'air et des pressions de l'air en mouvements", Paris 1835.

² „Presse scientifique", III, стр. 130, 1861.

³ „Pogg. Ann.", CXXXIX, стр. 670; CXL, стр. 325, 1870. С наблюдениями над шарами согласуются также и другие явления. Так, у отверстия резонансного ящика, на котором был помещен звучащий камертон, бузинный шарик притягивался, а пламя отталкивалось. К. Н. Schellbach (родился в 1805 г.) — преподаватель гимназии в Берлине.

⁴ „Pogg. Ann.", CLVII, стр. 42, 1876; „Wied. Ann.", III, стр. 328, 1878. Около этого же времени исследованием акустических притяжений занимался и Гутри („Philosophical Magazine", XXXIX, стр. 309; XL, стр. 345, 1870).

⁵ „Comptes rendus", LVI, стр. 530, 1863.

⁶ Там же, LXIX, стр. 703, 1869.

⁷ „Wiener Akad. Berichte", IX, стр. 173, 1852; XV, стр. 279, 1855; LXI, 2 отдел, стр. 299, 1870.

между частицами, вызывают притяжение, а продольные колебания — отталкивание. Следовательно, каждое теплое тело в небесном пространстве должно, благодаря испусканию тепловых лучей, вызывать кажущееся притяжение. Однако такое тепловое притяжение, будучи прямо пропорционально поверхности притягиваемых тел и обратно пропорционально их массе, становится незначительным для тел большой массы, и вызываемое солнцем тепловое притяжение земли составляет, во всяком случае, только очень малую часть тяготения.

Около этого же времени Лерэ ¹ снова противопоставил волнообразным теориям тяготения *эфирно-ударную теорию*, составленную совершенно в духе Лесажа. Он допустил, что через каждую точку пространства проходит во всевозможных направлениях бесчисленное множество эфирных потоков, движения которых при прохождении через весомые вещества поглощаются пропорционально массам последних. Непосредственно к системе Лесажа вернулся около 1872 г.² У. Томсон, а потом к ней присоединился и Г. Тэт ³. Томсон, однако, полагал, что система Лесажа требует некоторой поправки, а именно, нельзя согласиться с мыслью Лесажа, что энергия вызывающих тяготение атомов эфира вследствие их взаимных столкновений постепенно, хотя и в очень незначительной доле, уменьшается, а следует, наоборот, искать возмещения для этой энергии. С этой целью он вводит допущение, сделанное уже Клаузиусом в теории газов и состоящее в том, что энергия поступательного движения атома не представляет еще собой всей энергии атома; последняя состоит еще из колебательной и вращательной энергии, и все эти различные виды энергии способны превращаться друг в друга. После такого дополнения лессажевская теория тяготения, по мнению Томсона, не вызывает уже больших трудностей, чем кинетическая теория газов ⁴.

После того как в пользу кинетической теории тяготения высказались многие физики ⁵, и между ними такие крупные авторитеты, как Томсон и Тэт, остальные физики также почувствовали потребность занять определенную позицию в этом вопросе; однако в большинстве случаев они, в конце концов, приходили только к более или менее благожелательному нейтралитету. Так как никто не отрицал ньютоновских законов тяготения, то реальное существование силы тяжести никогда не вызывало сомнения; быть может, ей только было присвоено непра-

¹ „Comptes rendus" LXIX, стр. 615, 1869.

² „Proceed, of the Roy. Soc. of Edinburgh", VII, стр. 577, 1872.

³ „Vorlesungen über einige neuere Fortschritte der Physik", стр. 248, Braunschweig 1877.

⁴ Томсон говорит буквально следующее („Proc. of the R. S. of Edinburgh", VII, стр. 588): „Корпускулярная теория тяжести не труднее в своих исходных допущениях, чем принятая теперь кинетическая теория газов, и она более полна, поскольку, исходя из основных допущений крайне простого характера, она объясняет все известные явления этого рода, чего нельзя сказать о кинетической теории газов, по крайней мере в нынешнем ее состоянии".

⁵ Мы могли упомянуть здесь только небольшую часть появившихся в то время, обычно небольших, статей о причине тяготения; оставшиеся неупомянутыми статьи не содержат в себе принципиально ничего такого, что выходило бы за пределы изложенного выше.

230 ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ НЬЮТОНА И ВЕБЕРА

вильное название. Астрономы и особенно физики-математики, исследовавшие действия этой силы, считали вопрос о причине тяготения выходящим за пределы их сферы и не могли проявить к нему какого-либо дальнейшего интереса. Были еще и другие физики, которые по различным основаниям упорно продолжали считать тяготение первичной силой и отрицали возможность существования какой-либо дальнейшей причины тяготения. Наиболее ревностным из них был Целльнер¹; однако даже и он не мог остаться просто при старых взглядах, не внося в них никаких изменений.

Целльнер был безусловным приверженцем основного веберовского электрического закона, согласно которому взаимодействие двух электрических частиц зависит не только от их массы и расстояния, но также от скорости и даже ускорения действующих частей. А так как Целльнер при этом придерживался и закона сохранения энергии и вследствие того стоял на точке зрения единства всех сил природы, то ему не оставалось ничего другого, как допустить и для тяготения, которое должно было сохранить свой старый характер элементарного действия на расстоянии, — зависимость его от состояния движения тяготеющего тела и, таким образом, *отождествить закон тяготения с основным электрическим законом Вебера*. Вебер уже сам в первой своей работе 1846 г. отметил, что распространение его закона на явления тяготения может дать для числовых значений движения весомых масс и даже для небесных тел только ничтожные отклонения, совершенно ускользающие от нашего наблюдения. В 1864 г. Зегер² произвел соответствующие исчисления для движений и возмущения планет, но не опубликовал никаких численных результатов. Эти последние, основанные на расчетах проф. Шейбнера, впервые сообщил Целльнер в своей книге «Über die Natur der Cometen», Leipzig 1872 («О природе комет»). Из них следует, что если воспользоваться веберовским законом вместо ньютоновского и принять веберовское число для постоянной c , то, хотя и получаются некоторые небольшие отклонения для движения Меркурия, а именно, вековое изменение его перигелия в 6,75 дуговых секунд, но для Венеры соответствующее изменение достигает только 1,43 дуговых секунд, а для других планет оно совершенно исчезает³. Из этого Целльнер сделал тот вывод, что тяготение может быть отождествлено с электрическими силами не только по законам его действий, но и по самой его природе. Поэтому он сделал допущение, что кроме инерции и непроницаемости материальным частицам присущи только силы разнородных электричеств, а для того чтобы из них вывести тяготение, он еще допустил⁴, что потенциал двух

¹ Joh. Karl Friedr. Zöllner (1834—1882) — профессор астрономии в Лейпциге. С начала семидесятых годов ревностный приверженец спиритизма.

² „De motu perturbationibusque planetarum secundum legem electrodynamicam Weberianam solem ambientium“, Göttingen 1864.

³ Почти к тождественным выводам пришел и Тиссеран в статье: „Sur le mouvement des planètes autour du soleil d'après la loi électrodynamique de Weber“ („Comptes rendus“, LXXV, стр. 760, 1872).

⁴ „Principien einer elektrodynamischen Theorie der Materie“, стр. XII, Leipzig 1876.

ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ НЬЮТОНА И ВЕБЕРА 231

разнородных притягивающихся электрических частиц на очень малую величину (менее чем на $1/6 \cdot 10^{10}$) превышает потенциал двух однородных отталкивающихся частиц. Таким образом, силы природы сохранили полностью свой прежний характер элементарных причин, действующих непосредственно на расстоянии, но только независимость их от состояния движения действующих масс была признана Целльнером невозможной. Согласно ньютоновскому закону притяжения потенциал двух атомов, находящихся на расстоянии r друг от друга и имеющих массы m и m' , равен mm'/r . Если допустить, как это обычно делается в математической физике, что массы атомов сосредоточены в одной точке, то атомы могут сблизиться на бесконечно малое расстояние и тогда их потенциал может достигнуть бесконечно большой величины, следовательно, в каждом конечном количестве весомой материи должно было бы содержаться неограниченное количество потенциальной энергии, бесконечно большая работоспособность. *Так как последнее невозможно, то ньютоновский закон притяжения следует рассматривать лишь как первое приближение к истинному, т. е. веберовскому, закону.* Согласно последнему потенциал двух масс выражается через $(m \cdot m'/r)(1 - v^2/c^2)$, а эта формула показывает, что возрастание потенциала с уменьшением расстояния все более уравнивается увеличением скорости v , так что величина потенциала может достигнуть только некоторого конечного максимального значения, зависящего от веберовской постоянной c .

Целльнер оправдывает Ньютона в установлении его закона, указывая, что Ньютон применял его только к телам, находящимся на измеримом расстоянии друг от друга, и потому и не нуждался в веберовской поправке; но в настоящее время, — подчеркивает Целльнер, — когда этот закон желают применить к атомам, находящимся на неизмеримо малых расстояниях, следует применять только веберовскую форму этого закона ¹. При этом интересно, что Целльнер не заметил или не придавал значения *внутреннему неразрешимому противоречию* между сохраненным им *непосредственным действием на расстоянии* и принятой им *зависимостью действия от состояния движения*. Объясняется это только тем, что *Целльнер все-таки допускал существование причины для всякого материального непосредственного действия на расстоянии, но только вместо материальной причины он принимал причину нематериальную, и как раз эта мнимая деятельность сверхчувственного особенно и привлекала Целльнера*. Во взаимном притяжении двух тел он тоже видел не простую притягательную силу, действующую на материю извне, а скорее некоторое *стремление тел* к соединению, основы которого заложены внутри каждого тела. Обладая более острой мыслью, чем некоторые другие, пытавшиеся найти решение загадки в указанном стремлении, Целльнер даже утверждает,

¹ „Principien einer electrodyn. Theorie der Materie“, стр. XX, Leipzig 1876.

*что стремление двух тел к соединению невозможно без взаимного чувства между ними; поэтому он приписывает каждому веществу ощущения и чувства удовольствия и неудовольствия, которые уже и возбуждают в веществе притягательные или отталкивательные стремления*¹. Таких взглядов придерживался не один Целльнер, — многие философы и физиологи, непосредственно опираясь на Лейбница и на его учение о монадах, пытались разрешить, по крайней мере, в своей области, тайну психических явлений в организмах допущением одухотворенности всякой, даже и неорганической материи². Физики же, наоборот, видели в таком одухотворении материи не объяснение сил, действующих непосредственно на расстоянии, а скорее повышение загадочного в этих силах до степени чудесного; вследствие этого попытки кинетического объяснения тяготения не только не уменьшились, но, напротив, умножились.

Работы, появившиеся до этого времени в данной области, исчерпали уже все возможные решения. Действие одного тела на другое при посредстве промежуточной среды может заключаться либо в давлении, либо в ударе; при этом следует особо различать, передается ли давление поступательными или колебательными движениями частиц среды. Все эти возможные случаи в семидесятых и восьмидесятых годах вновь подверглись обсуждению, более широкому и глубокому, чем прежде.

Первая очередь была, по-видимому, за теориями эфирного давления. Ф. Шпиллер, работавший уже с 1855 г. над объяснением всех физических явлений на основе единого начала и над ниспровержением «призрака невесомых» («Phantom der Imponderabilien»), закончил в 1876 г.³ свои исследования в этом направлении. По представлению Шпиллера все мировое пространство заполнено составленным из атомов совершенно упругим эфиром, который имеет равное напряжение по всем направлениям, или повсюду находится под одним и тем же давлением. Для двух находящихся в таком эфире шарообразных весомих атомов все силы давления, лежащие внутри двух плоскостей, проведенных через центры атомов перпендикулярно к линии, соединяющей эти центры, должны уравниваться; силы же давления, действующие вне этих плоскостей, не имеющие противодействия, должны создавать кажущееся тяготение между обоими атомами. Однако Изенкраге в упоминаемой ниже работе «Das Rätsel von der Schwerkraft» («Тайна тяготения») показал, что выравнивание давления, как его принимает Шпил-

¹ Там же, стр. XLV—LXVII.

² Лотце в своем „Mikrokosmos" I, стр. 398, Leipzig 1877, говорит: „Каждое давление и каждое натяжение, которое испытывает материя, — покой устойчивого равновесия и уничтожение существовавшей связи — все это не только происходит, но вместе с тем является источником наслаждения". Геккель в своей „Perigenesis der Plastidule", стр. 37, Berlin 1876, пишет: „Удовольствие и неудовольствие, желание и нежелание, притяжение и отталкивание должны быть общи всем массам и атомам; движения атомов, которые имеют место при образовании и разложении всякого химического соединения, только тогда становятся понятными, когда мы им приписываем ощущение и волю".

³ „Die Urkraft des Weltalls", Berlin 1876 — Ph. Spiller (1800 — 1879) — профессор в Берлине.

лер, не может иметь места и что во всякой упругой жидкости никакое находящееся в покое тело не может помешать распространению статического давления, как это видно также из выравнивания давления газа между твердыми телами ¹.

Более кинетически объяснил распространение эфирного давления А. Андерсон в своем сочинении «Die Theorie vom Massendruck aus der Ferne», Breslau 1880 («Теория давления масс на расстоянии»). Согласно его представлению каждое космическое тело излучает во все стороны известную отталкивательную, центробежную силу, которая при посредстве все наполняющего и все проникающего эфира передается на любые расстояния. Но распространение давления происходит здесь не так, как у Шпиллера, без участия движения, а напротив, толчками, благодаря волнообразным движениям эфира, следующим, однако, столь быстро друг за другом, что их действие можно рассматривать как непрерывное давление. Так как каждое мировое тело окружено со всех сторон другими мировыми телами, то оно испытывает со всех сторон давление, которое, будучи рассматриваемо со стороны самого тела, является как бы центростремительной силой, или притяжением этого тела.

Андерсеновская теория является как бы прямой противоположностью гипотезе тяготения, перед которой она имеет преимущество наглядного изображения действий и аналогии с тепловым и световым излучением нагретых тел. Однако и здесь, как в теории Ньютона, действительный источник действия остается неуловимым, а образование равного во все стороны земного тяготения и молекулярного притяжения из бесконечно большого числа слагающих давлений представляется, во всяком случае, очень мало наглядным. Поэтому все больше стали склоняться к тому, чтобы причину тяготения искать не в весомой материи, а в эфире или в материи вообще.

Одним из наиболее радикальных новаторов в этой области является Деллингсгаузен, который, видоизменяя постепенно в ряде статей свои взгляды и исправляя их в соответствии со сделанными возражениями, изложил их в окончательном виде в 1884 г. ². *Он определяет здесь материю как обций, лежащий в основании всех тел, одинаковый, неизменный и невесомый субстрат, в котором различия и видоизменения могут быть вызваны только движениями и который можно представлять себе не иначе, как находящимся в движении.* Предполагать в этой материи атомы и молекулы было бы произвольной, ни на чем ни основанной и притом бесцельной гипотезой; *поэтому необходимо представлять себе материю совершенно непрерывной* (по крайней мере, в смысле отрицания произвольно поставленных границ). Для дедуктивного построения всех мировых явлений следовало бы, прежде всего, знать внутренние движения этой материи, а так как последние нельзя узнать непосредственно, то следует из наблюдения внешних движений умозаключить

¹ „Das Rätsel von der Schwerkraft“, стр. 44—49, Braunschweig 1879.

² „Kosmos“, red. von B. Vetter, XIV, стр. 267, 336, 427; XV, стр. 35, 1884. „Grundzüge einer Vibrationstheorie der Natur“, Reval 1872; „Das Rätsel der Gravitation“, Heidelberg 1880. — Барон N. Dellingshausen — уроженец Эстонии.

о внутренних ¹. Световые и тепловые явления показывают, что всякая материя находится в колебательном движении, которое распространяется в ней волнообразно. Отсюда можно заключить, что внутренние движения материи, в силу ее непрерывности, являются круговыми движениями, составленными из отдельных элементарных колебаний. Эти внутренние движения, складываясь с внешними движениями тела, превращаются в *винтообразные*, которые всегда могут быть вновь разложены на *вращательные* и *поступательные* движения. Каждая точка описывает при этом свою собственную траекторию, и координаты двух точек для какого-нибудь момента времени, как бы близко эти точки ни лежали друг от друга, никогда не могут быть равны между собою; таким образом, точки взаимно исключают друг друга и создают то состояние, которое до сих пор называли *непроницаемостью* и которое в действительности основывается только на гармонии внутренних движений ². В материи не существует *никакой упругости*, каждая точка смещает и испытывает смещение; нет необходимости и в *инерции* для поддержания этого движения, так как непрерывное его существование основывается на полной взаимности всех действий, вследствие чего ни одна точка не может внезапно остановиться. Так как мы можем представить себе, что из каждой точки пространства исходят колебания, в каждой точке пространства должно встречаться бесчисленное множество волн. Эти встречающиеся волны могут в некоторых местах образовать *стоячие волны*. Такие части пространства, где образуются подобные стоячие колебания, получают тогда известную устойчивость — они образуют тела. *Пограничная, или внешняя, поверхность тела — это поверхность, которая отделяет друг от друга стоячие колебания различной интенсивности и продолжительности и на которой, следовательно, отражаются проходящие через тело колебания*. Так как материя, сплошь заполняющая собою все пространство, не может быть ни сжата, ни разрежена, то *увеличение или уменьшение объема тел объясняется только увеличением или, соответственно, уменьшением того пространства, в котором происходят внутренние колебания* ³. Само собою разумеется, что при этом

¹ Без математики, — говорит Деллингсгаузен, — здесь можно достигнуть лишь немногого. Но так как при установлении связи между явлениями природы дело идет не столько о формах движения, сколько о передаче и превращении энергии, то он еще надеется достигнуть цели. — Разумеется, эта надежда должна быть слабой, так как и превращение движений зависит, прежде всего, от их формы.

² Такое утверждение является только простой перефразировкой понятия непроницаемости.

³ Согласно кинетическому учению о природе даже *поступательное движение* тел объясняется не перемещением материи, а только *распространением движений*. Подобную гипотезу высказал Гельм в 1881 г. в „Wiedem. Ann.“ (XIV, стр. 153): „Таким образом, я допускаю, что молекулы представляют собою малые объемы (в изотропных телах, о которых здесь только идет речь, они представляют собою шарики), заполненные тем же самым веществом, эфиром, который, заполняя непрерывно все пространство, находится также и вне их. Это вещество в свободном мировом пространстве имеет иную степень подвижности, чем вблизи молекул или чем в самих молекулах. Вне молекул вещество движется по дифференциальным уравнениям упругих жидких тел, но постоянные уравнения движения различны для случая движения в свободном пространстве и вблизи молекул... В молекулах, согласно моему допущению, вещество движется

ЧИСТО КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МАТЕРИИ ДЕЛЛИНГСГАУЗЕНА 235

должна происходить затрата или же выигрыш работы. Наиболее важным пунктом для «кинетического учения о природе», как называет Деллингсгаузен свою теорию, является объяснение потенциальной энергии, присущей телам под видом энергии положения, химической энергии и т. д. Приверженцы старой теории тяготения объясняли эти запасы энергии в телах центральными силами, не указывая, однако, каким образом эти последние проявляют свою деятельность. Эфирно-ударные теории считают возможным обойтись совершенно без потенциальной энергии и должны, поэтому отказаться от объяснения многих явлений природы. По мнению Деллингсгаузена *только на основе его кинетического учения о природе можно ясно и наглядно показать истинное значение потенциальной энергии, так как нельзя ведь не признать, что эта энергия есть не что иное, как энергия движений, интерферирующих внутри тел и взаимно уравнивающих в их действиях вовне*. Таким образом, например, сообщенные телу во время перехода его из одного агрегатного состояния в другое тепловые движения приходят в положение непрерывной интерференции и благодаря этому остаются неуловимыми для осязания и для термометра, т. е. сообщенная теплота обращается в потенциальную энергию. При конденсации паров, напротив, внутренние движения перестают интерферировать между собою; таким же образом запас работы, который обуславливает взрыв гремучего газа и теплоту сгорания водорода, содержался уже в составных частях воды перед их соединением как энергия интерферирующих движений, и этот запас только выходит из состояния интерференции при взаимном соединении газов. Точно так же и оба рода электричества состоят из внутренних движений, которые в обыкновенном состоянии взаимно друг друга уравнивают, но интерференция которых прерывается вследствие трения или химических процессов¹.

Неизвестный по своей природе субстрат материи является также основой и мирового эфира, который следует представлять себе в виде газа, может быть, наиболее совершенного из всех газов², находящегося при температуре, близкой к абсолютному нулю, и под весьма незначительным давлением. Поэтому происходящие в каждой его точке движе-

по дифференциальным уравнениям жидких тел... Эфир вне молекул я буду кратко обозначать твердым, а внутри их жидким... Я могу тогда молекулу коротко обозначить как место в пространстве, где эфир обращается в жидкость; если последний движется, то вместе с ним движется и причина этого обращения в жидкость, и те места, которые раньше были твердыми, становятся жидкими и обратно".

¹ Свое определение потенциальной энергии как энергии интерферирующих движений Деллингсгаузен считает *капитальным достижением* и противопоставляет его кинетической атомистике и эфирно-ударной теории, которые якобы не в состоянии дать такого объяснения. Последнее утверждение, по-видимому, необоснованно, так как и обе эти теории тоже могут объяснить потенциальную энергию внутренними движениями, которые при частичном заполнении пространства материей, принимаемом обеими теориями, не проявляют своих действий наружу. *Только освобождение потенциальной энергии и превращение ее в кинетическую, по-видимому, легче поддается объяснению у Деллингсгаузена, чем в кинетической атомистике.*

² О различии агрегатных состояний Деллингсгаузен далее ничего не говорит; поэтому трудно понять, как следует их понимать с точки зрения его теории.

236 ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ И ТЯГОТЕНИЕ

ния должны настолько уравниваться, чтобы образовать стоячие колебания, т. е. *мировой эфир должен представлять собою заполненную стоячими колебаниями среду, которая в силу присущей ей исключительно лишь потенциальной энергии представляется нам как бы пустой и лишенной сопротивления*. Если бы в мировом пространстве находился лишь только один эфир, то он навсегда сохранил бы такое состояние, но его изменяют рассеянные в эфире тела. Так как последние поглощают световые и тепловые волны и вообще все проникающие в них эфирные колебания, обращая их во внутренние движения, которые уже не оказывают действия наружу, то тела тем самым отнимают у других эфирных волн необходимые для образования стоячих волн, составляющие и в дальнейшем колебание эфира, продолжается в виде поступательного волнообразного движения. Таким образом, под влиянием космических тел мировой эфир испытывает глубокие изменения: он перестает быть наполненным исключительно стоячими колебаниями, а пронизывается в направлении к различным телам вселенной многократно пересекающимися потоками бегущих волн, которые и вызывают тяготение по направлению к этим телам. Однако не эти волны тяготения служат источником живой силы при столкновении тел: они дают только повод к падению; разрушая стоячие колебания внутри тела, они лишь освобождают те силы, которые вызывают ускоренное движение падающих тел. *Итак, следует отметить, что эфир не является непосредственной причиной тяготения, он только создает условия, при которых освобождается собственная энергия тел, т. е. происходит превращение потенциальной энергии в кинетическую энергию падения*¹. При этом, однако, энергия падения должна быть пропорциональна энергии волн тяготения, потому что энергия последних должна, во всяком случае, зависеть от поглощательной способности своего центрального тела по отношению к падающим на него волнам. Из равенства ускорений всех тел на земле следует заключить, что весомые тела отнимают у протекающих через них волн тяготения количества энергии, пропорциональные массам этих тел, а так как это заключение применимо в самом общем виде, то можно сказать вообще, что энергия волн тяготения

¹ Этим сложным построением Деллингсгаузен надеется доказать полную несостоятельность эфирно-ударных теорий, так как согласно их предпосылкам энергия, сообщаемая падающему телу равномерно текущими потоками эфира, должна была бы быть пропорциональной времени, между тем как в действительности она возрастает пропорционально квадрату времени. Однако совершенно так же, как эфирно-ударным теориям, этот упрек можно было бы сделать и всем прежним теориям тяготения, открытиям Галилея, Ньютона и т. д. и, наконец, теории самого Деллингсгаузена. В самом деле, если падающие тела развивают свою кинетическую энергию за счет собственных ресурсов, то здесь еще скорее можно было бы допустить, что это происходит пропорционально времени, а не квадрату последнего. *Затруднение, с которым здесь встречается Деллингсгаузен, везде одно и то же, и заключается оно в том, что он принимает энергию за нечто первичное, передающееся при ударе и развивающееся при падении, между тем как мы в первую очередь можем говорить лишь об образовании разностей скоростей, которое протекает пропорционально времени и именно этим обуславливает нарастание энергии пропорционально квадрату времени.*

всегда должна быть пропорциональной массе своего центрального тела ¹. При концентрическом распространении волн тяготения свое действие по созданию тяжести может проявить только та часть этих волн, которая доходит до весомого тела; а так как эти волны при своем распространении по направлению к какому-нибудь определенному мировому телу переносят свои движения на все увеличивающиеся шаровые поверхности, то их энергия по расчету на постоянную площадь или внутри постоянного объема уменьшается в обратном отношении к квадрату радиуса этих шаров или к квадрату расстояния от центра тела. Тем самым доказано, что и при кинетическом учении о природе тела в своих движениях подчиняются ньютоновским законам.

В заключение своей работы Деллингсгаузен говорит ²: *«Явления природы суть явления движения. В этом заключается единство естествознания. Многообразие явлений основывается на разнообразии движений, которые могут возникать и исчезать. Вечна только энергия... Конечная цель всякого изучения природы должна была бы, разумеется, состоять не в одном только доказательстве эквивалентности превращений, но также в выяснении характера движений в телах, как это уже сделано в волновой теории света. Однако от этой цели наука, уже в силу разнообразия данных явлений, еще весьма далека; кроме того, поставленная здесь задача может быть выполнена только с помощью математики»*. Несмотря на признанную самим Деллингсгаузенем неполноту своей теории, он все же полагает, что сделал немалый шаг по пути к истинному познанию природы. «Отныне ³, — пророчествует он далее, — можно с уверенностью предсказать крушение атомистики... Будущие исследователи природы... оставят атомистику и обратятся к тому учению, которое без искусственных вспомогательных средств, без атомов, без сил и невесомых могло дать то, над чем в течение 3000 лет тщетно работала атомистическая теория. Это учение и есть то чисто кинетическое учение о природе, которое изложено в настоящем сочинении... Ближайшая задача кинетического учения о природе заключается, однако, в том, чтобы все изложенное в настоящем сочинении на словах воспроизвести в математической форме».

¹ Понятие о *массе* при однородности материи представляет, конечно, для Деллингсгаузена свои особые трудности, поэтому он заменяет его понятием *количества движения* тела. Однако, так как в обычное определение последнего входит опять-таки масса, то он определяет *количество движения только как произведение скорости, объема и некоторого постоянного множителя*; а так как этот множитель есть не что иное, как плотность, зависящая опять-таки от понятия о массе, то, в конце концов, он определяет массы лишь как „эмпирические, выведенные из наблюдаемого веса коэффициенты, служащие для установления эквивалентности между работоспособностью и живою силою тел" („Kosmos", XIV, стр. 439). Сущность массы определена при этом, конечно, правильно, но вывод ее из установленного автором понятия о материи, во всяком случае, не дан и даже не показана вероятная возможность такого вывода, что в данном случае представлялось бы прямо необходимым, принимая во внимание трудность этого вопроса как раз для теории непрерывного заполнения пространства материей.

² „Kosmos", XV, стр. 43.

³ „Kosmos", XV, стр. 49.

238 ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ НОВОЙ ТЕОРИИ

Деллингсгаузен был бы, может быть, прав в своем пророчестве, если бы только последнее его требование было так же легко выполнить, как высказать. Его работа содержит в себе много верного и имеет много достоинств. Построение материи исключительно на основе движения составляет идеал физики; объяснение потенциальной энергии, построение тел без всякого применения элементарных сил представляют собою значительные достижения. При всем том его теория не только очень мало разработана с математической стороны, но не содержит в себе даже ясных положений для математической разработки; поэтому о математическом подтверждении ее едва ли приходится думать. В этом отношении Деллингсгаузен, вопреки его словам, далеко не сделал того, чего достигло старое учение о природе с помощью своих атомов, сил и невесомых сред. Легко представить себе и математически выразить движение какого-нибудь отдельного атома в пустом пространстве; но каким образом могут происходить отдельные движения в деллингсгаузеновской однородной, несжимаемой и непрерывной материи, в обсуждение этого вопроса он и сам не входил. Однако до тех пор, пока математик не выведет волнообразных движений в деллингсгаузеновской материи и их интерференции из простых уравнений движения, вся эта теория останется для физики не чем иным, как продуктом поэтической фантазии.

К числу физиков, которые подобно Деллингсгаузену, объясняли тяготение при помощи колебаний, принадлежат также С. Тольвер Престон¹ и Гуго Фритч²; однако оба они в противоположность Деллингсгаузену — атомисты и допускают существование двух начальных материй: вызывающей тяготение, эфира, и тяжелой, или весомой, материи. При этом Фритч пытается обойти опасность допущения упругих атомов, предполагая их абсолютно твердыми, т. е. неизменными по форме.

Своеобразное положение между обеими теориями тяготения, волнообразной и теорией давления, попытался занять А. Секки³, который, подобно Деллингсгаузену, отнесся к задаче построения материи глубже

¹ „Physics of the Ether“, London 1875.

² „Programm d. Realschule in Königsberg“, 1874 и 1876. В 1886 г. («Programm des Städt. Realgymn. in Königsberg») Фритч снова изложил свои взгляды в несколько измененной форме, вызванной, вероятно, работами на эту тему, появившимися за истекшее время. Все материальные частицы наполняют пространство без промежутков. Эфирные частицы не тверды, а могут при столкновении друг с другом делиться на части. Гораздо большие весомые частицы получают свою твердость только вследствие ударов эфирных частиц. Видимая упругость происходит вследствие того, что в непроницаемой материи ни одно движение не может исчезнуть.

³ „L'unità delle forze fisiche“. Впервые появилась в 1864 г.; переведена на немецкий язык: „Die Einheit der Naturkräfte“, Leipzig 1876. — Angelo Secchi (1818—1878) первоначальное образование получил в иезуитской школе; в 1839 г. поступил в общество Иисуса; свое научное образование получил в Collegio Illirico-Lauretano в Лоретто и в Джорджтауне в Северной Америке; был профессором математики и физики в Джорджтауне, потом в Collegio Romano и в Лоретто; после изгнания иезуитов из Италии жил в Стоннгрэсте в Англии, а потом снова в Джорджтауне; по возвращении иезуитов был профессором астрономии в Collegio Romano и директором обсерватории; позднее был также профессором физической астрономии в римском университете; умер в Риме 26 февраля 1878 г.

своих предшественников, но остался на почве атомистики. Согласно Секки пространство *прерывно* и заполнено *отдельными, независимыми и непроницаемыми атомами, способными к движению, но не заключающими в себе никакой внутренней силы, ни упругой, ни отталкивательной*. Этим атомам свойственно не только *поступательное*, но и *вращательное движение*. Так как Пуансо ¹ доказал, что твердые неупругие тела, имеющие вращательное движение, при ударе отскакивают друг от друга так же, как упругие, а часто даже с большею скоростью, то и эти неупругие атомы могут все-таки при своих взаимных столкновениях давать те же явления, как и вполне упругие ². Положим, что в пространстве, наполненном такими атомами, находится центр сотрясений, из которого эти последние непрерывно расходятся во все стороны. Такой центр будет толкать атомы вперед, они будут сталкиваться с другими атомами, отражаться от них под косыми углами, приводить в движение новые атомы и распространять это движение в шарообразном пространстве. Материя, таким образом, оттесняется от центра наружу, и плотность ее в этом направлении убывает до бесконечных расстояний. Представим себе теперь в пространстве два центра сотрясений *A* и *B*; на соединяющей их прямой *AB* должно находиться меньше материи, чем вне ее; удары же движущихся атомов будут действовать на центры колебаний подобно притягательной силе в направлении *AB*. Так как сила ударов должна быть пропорциональна массе, а, следовательно, плотность материи должна убывать обратно пропорционально квадрату расстояния, то по этому же закону должна действовать и кажущаяся сила притяжения. Самые *центры сотрясений* можно представлять себе двояким образом. Либо они состоят из некоторой *первичной материи*, которая отличается от *эфира* тем, что ее атомы обладают *большею массой, большим объемом и более интенсивными движениями*, или же (что в теоретическом отношении гораздо более интересно) эти центры представляют собою только *соединения эфирных атомов*. Для образования таких сложных единиц не требуется

¹ „Dynamische Untersuchungen über den Stoss der Körper“ (по франц. в „Liouv. Journal“, стр. 291; 1857; нем. перев. в „Schlomilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys.“, III, стр. 143 и 274; 1858). В этом сочинении („Zeitschr. f. Math. u. Phys.“, III, стр. 164) Пуансо говорит: „Действительно, чрезвычайно интересно, что совершенно неупругое тело только в силу своего движения может приобрести некоторое подобие упругости; при ударе о препятствие центр тяжести такого тела отражается в направлении, обратном первоначальному движению, или отбрасывается вперед с новою скоростью совершенно так же, как если бы оно пришло в соприкосновение с пружиной. Не меньше внимания заслуживает и то обстоятельство, что после отражения скорость не только может быть равна скорости центра тяжести до удара, как это бывает при вполне упругих телах, но даже может превзойти последнюю на любую величину, если только тело обладает достаточно большою скоростью вращения“.

² По замечанию Изенкраге („Rätsel der Schwerkraft“, стр. 108—115) и у самого Пуансо это положение не имеет общего значения. В отдельных случаях при ударе *вращающихся* неупругих тел происходит частичная или даже полная потеря поступательного движения. Когда же этого не бывает, то в целом вся энергия внешнего движения при столкновении все-таки уменьшается, так как вращательной энергии затрачивается больше, чем это необходимо для возмещения потраченной поступательной энергии.

240 ТЕОРИЯ ТЯГОТЕНИЯ ШРАММА

никакой иной силы, кроме инерции; благодаря повторным ударам множество атомов могло бы претерпеть такие изменения, что их поступательные и вращательные движения стали бы совершенно равными по величине и по направлению. *Такие сочетания атомов, в силу равенства своих движений, двигались бы как нечто единое и соответственно вели бы себя по отношению к остальным атомам.*

Более общий интерес, чем эти теории единой материи, стремившиеся построить на ее основе различные атомы, возбудили в новейшее время работы, которые, ближе примыкая к *кинетической теории газов*, допускают для атомов самостоятельное первичное существование, но только стараются объяснить силы, действующие между весомыми частицами, в духе Лесажа, движениями эфирных атомов. Мы уже упоминали, что в начале семидесятых годов У. Томсон вернулся целиком к идее Лесажа; около этого же времени Г. Шрамм¹ пытался обработать ту же теорию более детально и более глубоко с математической стороны. *Материю, вызывающую явления тяготения, Шрамм представлял себе в виде газа, понимаемого в духе механической теории теплоты.* Атомы этого мирового газа являются идеально упругими шарами, имеющими весьма незначительную, но различную величину, очень неплотно заполняющими пространство и движущимися, пока не встречаются препятствий, прямолинейно и равномерно с очень большими скоростями. Состояния их движения в различных местах пространства, вообще говоря, различны, но чем больше рассматриваемые промежутки времени, тем больше они приближаются к некоторому постоянному среднему уровню. Если в этих атомных потоках движется *атом большей величины*, или *молекула*, то вследствие преобладающего влияния встречных движений, противоположных его движению, он должен постепенно (хотя, может быть, и по истечении бесконечно длинного промежутка времени) придти в состояние покоя. Если же в таких потоках окажется много больших атомов или молекул, то последние будут, наоборот, сближаться между собою. Представим себе, например, между обыкновенными движущимися атомами сначала только две молекулы, M и M_1 (см. прилагаемый черт. 8). Последние будут подвергаться ударам эфирных атомов со всех сторон, за исключением обращенных друг к другу внутренних сторон J и J_1 так как все атомы, движущиеся по направлению AA_1 и в противоположном направлении внутри конуса с угловым радиусом α , отражаются от внешних поверхностей молекул в окружающее пространство и, следовательно, не могут достичь внутренних поверхностей. Таким образом, часть поверхности J (и J_1) внутри конуса α_1 может воспринять только те атомы, которые отразились от обращенной к ней поверхности J_1 (соответственно J). Так как каждое отражение атома требует некоторого, хотя бы и весьма малого, времени τ , в течение которого атом должен потерять свою скорость в одном направлении и вновь приобрести ее в другом, то в случае, если бы нормально на прохожде-

¹ „Die allgemeine Bewegung der Materie als Grundursache der Erscheinungen“, Wien 1872; „Anziehungskraft als Wirkung der Bewegung“, Graz 1873. — Heinr. Schramm — директор средней школы в Австрии.

ТЕОРИЯ ТЯГОТЕНИЯ ШРАММА 241

ние промежутка от J до J_1 требовалось, в среднем, время t , то теперь это время увеличится до $t + \tau$. Следовательно, за то время, в течение которого на наружную поверхность A молекулы приходится m' атомов, на внутреннюю ее поверхность J попадает только

$$m' \frac{t}{t + \tau}$$

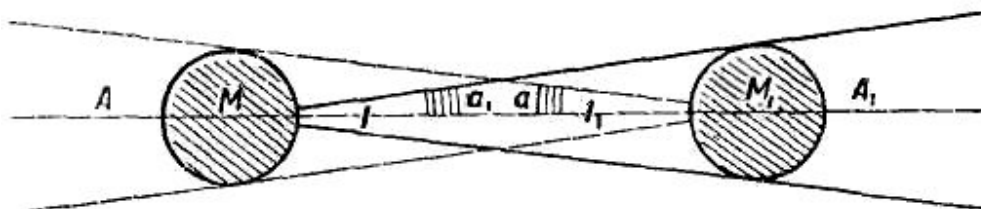
атомов, что дает для наружной стороны A излишек в

$$m' \frac{\tau}{t + \tau} = m' k$$

атомов, удары которых стремятся приблизить молекулу M к молекуле M_1 . Ускорение, получаемое тогда молекулой M по направлению к M_1 , равняется

$$\frac{\rho^2 \rho_1^2 \pi m' k c}{M x^2},$$

где x — расстояние между молекулами, ρ и ρ_1 — их радиусы, а c — скорость атомов. Таким образом, ускорение обратно пропорционально квадрату расстояния; а так как всякое тело, составленное из n молекул, будет производить на другое тело в n раз более сильное действие, то общее действие должно быть пропорционально и массе, при том, однако, предположении, что молекулы тела находятся друг от друга на столь большом расстоянии, что их действие можно действительно считать совершенно одинаковым. При выводе приведенной формулы приходится делать те же предположения, которые ввел в свою теорию уже Лесаж, а именно, что состояние эфира должно быть везде и все время одинаково, что атомы, вызывающие тяготение, обладают по сравнению с весомыми молекулами лишь весьма незначительной



Черт. 8.

массой и что сопротивление эфира движению молекул ничтожно. сверх того, наблюдаемое постоянство ускорения силы тяжести требует постоянства отношения ρ^2/M , т. е. требует, чтобы масса молекулы была пропорциональна не третьей, а второй степени его диаметра. Шрамм пытался поддержать такое само по себе маловероятное условие тем, что рекомендовал представлять себе молекулы в виде полых шаров с бесконечно тонкими стенками; при этом и идеальная упругость молекул становится более понятной, чем, если представлять их себе в виде массивных полых шаров.

242 РЕШЕНИЕ ЗАГАДКИ ТЯГОТЕНИЯ У ИЗЕНКРАГЕ

Однако Изенкраге¹ в своем сочинении «Das Rätsel der Schwerkraft» («Загадка тяготения») возражает как раз против *допущения абсолютной упругости атомов* с целью объяснения тяготения, так как, во-первых, это предположение опять-таки равносильно допущению *трансцендентного свойства* атома, что само по себе неприемлемо для механической теории материи, а во-вторых, оно совершенно *бесплодно и бесполезно* для той цели, для которой оно предназначено служить. Изенкраге считает возможным доказать, что при допущении абсолютно упругих атомов присутствие весомой молекулы в одинаковом во всех направлениях вихре эфирных атомов никоим образом не могло бы изменить состояния эфира, т. е. скорости его атомов и числа атомов, попадающих за определенное время на какую-нибудь поверхность. Отсюда он приходит к выводу, что и присутствие двух таких молекул не могло бы оказывать никакого влияния на эфир².

Поэтому в своем объяснении тяготения он совершенно отказывается от упругости атомов, но во всем остальном целиком сохраняет допущения Лесажа и Шрамма о дуализме материи, об ее атомном строении и о первичных движениях в эфире. «Представим себе, — говорит он, — что эфир вполне однородный газ, все составные части которого совершенно одинаковы; в таком случае массу какого-нибудь атома можно обозначить постоянной величиной μ . Кто не желает допускать такой однородности, пусть под величиной μ понимает среднюю массу атома эфира. Обозначим, далее, среднюю скорость через c ; а плотность, или, лучше сказать, частоту, с которой эфирные атомы пронизывают пространство, введем в расчет в виде числа эфирных атомов v , пролетающих в единицу времени через одну квадратную единицу какой-нибудь неподвижной в пространстве плоскости. Поскольку нет особых оснований, говорящих против этого, мы допускаем, что эфирные атомы движутся в пространстве по всем направлениям с одинаковою скоростью и в одном и том же количестве. *Мы не ставим при этом во-*

¹ „Das Rätsel v. d. Schwerkraft. Kritik der bisherigen Lösungen des Gravitationsproblems und Versuch einer neuen, auf rein mechanischer Grundlage“, Braunschweig 1879. — С. Isenkrahe — преподаватель в Бонне.

² Эти положения, по-видимому, не вполне обоснованы. Во-первых, и при ударе упругих атомов для преобразования движений требуется все-таки известное время; поэтому эфирные атомы, попадающие на весомую молекулу, пристаю к ней на некоторое время, вследствие чего, конечно, состояние эфира вблизи молекулы должно на известном протяжении измениться. Во-вторых, и приверженцы упругости атомов всегда исходили из положения равновесия одной молекулы в атомном вихре и утверждали только, что две молекулы служат друг для друга экраном и что только при наличии двух молекул в промежутке между ними уменьшается число действующих атомов. Сверх того, следует отличать упругость эфирных атомов от упругости весомых молекул. Приверженцы упругого удара допускали идеальную упругость эфирных атомов, главным образом, с той целью, чтобы при столкновениях их друг с другом не было никакой потери силы. Изенкраге же для взаимных столкновений молекул с атомами пользуется законами неупругого удара, чтобы по-своему объяснить происходящую при этом передачу силы. Но так как Изенкраге тоже не делает никаких определенных допущений о строении материи, а Шрамм, несмотря на совершенно упругий удар, все-таки допускает передачу силы, то результаты обеих этих теорий не настолько отличаются друг от друга, как этого можно было бы ожидать, принимая во внимание противоположность их основных предпосылок.

РЕШЕНИЕ ЗАГАДКИ ТЯГОТЕНИЯ У ИЗЕНКРАГЕ 243

проса, одинаковы ли или неодинаковы с эфирными атомами конечные частицы действующих на наши чувства тел, т. е. частицы так называемой «грубой материи». Мы допускаем лишь, что эти частицы, каким бы то ни было образом, по существу или же только формально, — отличаются от эфира. Там, где мы вводим в расчет действие эфира на составные части тел, мы последние называем «молекулами», обозначая их массу через m и скорость через v . Во всех случаях, когда заходит речь о форме атомов или молекул, мы ограничиваемся допущением для них шарообразной формы, так как все другие формы представляют для расчета большие трудности, преодоление которых не представляет пока интереса для нашей работы». После этих предпосылок Изенкрге обращается к исследованию действия эфирных потоков (в которых он на первое время допускает только поступательные движения) на находящуюся в покое молекулу. На единицу площади в секунду попадает $v/2$ атомов; следовательно, за время dt и на элемент поверхности df попадет $(v/2)dt df$ атомов. Эффект ударов на элемент поверхности (шарообразной молекулы) для различных атомов различен в зависимости от направления. Для эффекта центральных ударов всех попадающих атомов математические расчеты дают $\frac{1}{3}mvcdt df$ ¹. Тангенциальные удары должны попарно уравниваться уже на каждом элементе поверхности; но для целой шарообразной молекулы сумма эффектов всех центральных ударов тоже должна быть равна нулю, и молекула как была в покое, так и должна в нем остаться².

¹ Если бы все атомы попадали перпендикулярно на элемент поверхности то общий эффект ударов составил бы $\frac{1}{2}mvcdt df$; следовательно, отношение действий в обоих случаях равно 2:3. Как указывает Изенкрге, Шрамм ошибочно дал для этого отношения величину 1:2.

² Изенкрге присоединяет здесь очень важное замечание. Взаимное уничтожение всех эффектов центральных ударов, строго говоря, возможно только тогда, когда все удары происходят одновременно. Но так как такой случай исключительно редок, то в действительности молекула будет описывать некоторую зигзагообразную линию и колебаться во всевозможных плоскостях около некоторого среднего положения. „В качестве действия эфирных ударов для отдельной молекулы следует рассматривать не одни только эти (тепловые?) колебания, но также и внутренние движения, смещения отдельных частей молекулы. Представляя себе молекулы, т. е. ближайшие составные частицы доступной нашим чувствам материи, в виде агломератов, — как это делает химия, — мы должны допустить также изменчивость формы этих сочетаний. Для простоты рассмотрим поперечное сечение молекулы; здесь мы видим группу атомов молекулы, которые со всех сторон подвергаются ударам налетающих на них эфирных атомов... Для известного промежутка времени мы должны допустить, что давление, вызванное такими направленными со всех сторон ударами, для всех точек периферии одинаково и что, следовательно, эта периферия должна иметь форму круга. Другое дело, если мы будем рассматривать меньшие промежутки времени. Каждый отдельный налетающий атом эфира изменяет форму сечения, производя одностороннее давление; в зависимости от скорости, которою обладает атом, вызываемая им деформация будет больше или меньше. Но все эти изменения недолговременны, они быстро следуют друг за другом то там, то здесь, вследствие чего можно в известном смысле утверждать, что периферия поперечного сечения

244 КАЖУЩЕЕСЯ ПРИТЯЖЕНИЕ ДВУХ МОЛЕКУЛ

Но вслед за влиянием эфирного атома на покоящуюся молекулу следует, обратно, рассмотреть и влияние последней на первый. Так как эфирные атомы не упруги ¹ и ударяются они в неупругие тела, то скорость их при этом должна уменьшиться. Это уменьшение зависит от массы молекулы и может достигнуть $\frac{1}{3}$ скорости атома ². Таким образом вблизи молекулы скорость атома становится меньше, а вместе с тем и весь эффект удара, или давление эфира, становится слабее, чем в свободном эфире. *Это уменьшение эфирного давления вблизи молекулы вызывает кажущееся тяготение или притяжение по направлению к последней*, причем легко показать, что это уменьшение давления или кажущееся тяготение обратно пропорционально квадрату расстояний от молекулы. Можно было бы, пожалуй, возразить, что вследствие замедления движения эфирных атомов эфир должен был бы сгуститься вокруг молекулы и тем помешать кажущемуся притяжению; однако легко показать, что через какое-нибудь определенное поперечное сечение в пространстве атомы не могут проходить после сгущения в том же числе, как прежде, и что поэтому, несмотря на вышеупомянутое неоспоримое сгущение, действие ударов или давление эфира должно становиться слабее.

Так как, согласно принятому нами допущению, молекулы шарообразны, а движения эфира по всем направлениям одинаковы, то эфирное давление вокруг каждой молекулы должно быть распределено вполне равномерно; поэтому единичная молекула в движущемся эфире, несмотря на движение последнего, должна оставаться в покое ³. Если же около молекулы *a* находится другая *b*, то все атомы, идущие к *a* со стороны *b*, имеют меньшую скорость, чем все прочие атомы, попадающие на *a*; происходящее при этом нарушение равномерного

колеблется около круговой формы. Точно так же и в том случае, если бы, скажем, две молекулы налетели друг на друга под косым углом, они обе подверглись бы деформации, но эта последняя не могла бы долго удержаться, так как налетевшие со всех сторон с большою скоростью эфирные атомы быстро вновь восстановили бы колеблющуюся круговую форму. Возможно, что это происходит уже во время соприкосновения обеих молекул и что это оказывает значительное влияние на энергию взаимного отражения их друг от друга. В этом явлении можно усмотреть некоторый род упругости, который следует рассматривать только как феномен, а не как силу в обычном смысле этого слова; этот феномен может быть использован для объяснения множества действий, которые до сих пор приписывались непонятной силе упругости. Мне представляется возможным рассматривать упругость молекул (по крайней мере, до некоторой степени) именно таким образом, т. е. как результат всестороннего давления эфира".

¹ Если даже молекула кажется упругой, то все-таки части ее, воспринимающие удары, во всяком случае, неупруги.

² Средняя скорость, с которой атомы отскакивают от молекулы, равна

$$\frac{2}{3} c \cdot \frac{3\mu^2 + 3\mu m + m^2}{2\mu^2 + 3\mu m + m^2}$$

³ Только при допущении, что молекулы не имеют правильной сферической формы, может случиться, что эфир поблизости от молекулы, в зависимости от его формы, будет неодинаково сгущен. Этими неодинаковыми сгущениями эфира по различным направлениям, может быть, можно было бы объяснить некоторые явления молекулярной физики, которые до сих пор объясняли особыми молекулярными силами.

КАЖУЩЕЕСЯ ПРИТЯЖЕНИЕ ДВУХ МОЛЕКУЛ 245

распределения ударов действует как некоторая сила, стремящаяся сблизить обе молекулы. Изенкраге выводит для этой псевдопритягательной силы, действующей со стороны b на a , следующее выражение:

$$\frac{\rho^2 r^3}{E^2} \cdot \frac{\pi v}{3} dt f(\rho),$$

для силы, действующей со стороны a на b :

$$\frac{\rho^2 r^3}{E^2} \cdot \frac{\pi v}{3} dt f(r),$$

а для всего взаимодействия между обеими молекулами:

$$\frac{\rho^2 r^2}{E^2} \cdot \frac{\pi v}{3} dt [f(\rho) + f(r)],$$

где E обозначает расстояние между молекулами, r и ρ — радиусы молекул, а $f(r)$ и $f(\rho)$ — потери скорости¹, испытываемые атомами эфира при отражении от соответствующих молекул a и b . Применимость этого выражения ограничена теми случаями, когда расстояние между центрами молекул настолько велико по сравнению с их радиусами, что этим расстоянием можно везде заменить расстояние между поверхностями молекул. Там же, где вследствие незначительности расстояний такая замена невозможна, множитель E в знаменателе слишком велик. Следовательно, действие силы на молекулярных расстояниях больше, чем на конечных, откуда можно было бы вывести, что и молекулярные силы — прилипание, сцепление и химическое сродство — должны действовать сильнее тяготения². Для перехода от притяжения между молекулами к притяжению между телами и к объяснению понятия о массе Изенкраге представляет себе две пластинки, из которых каждая состоит из одного только слоя молекул; эти пластинки расположены таким образом, что обе они перпендикулярны к соединяющей их линии. При этом действие каждой молекулы независимо от действия прочих молекул, а также совокупное их действие может быть легко получено путем суммирования известных действий отдельных молекул. Однако из характера образования этой суммы следует, что действие одного слоя на другой противолежащий можно удвоить двумя способами: либо поместив около этого слоя второй слой, совершенно одинаковый с первым, или же вставив в промежутки между молекулами первого слоя еще такое же количество молекул. Отсюда следует, что взаимодействие двух молекулярных слоев пропорционально как их объемам, так и их плотностям или что оно пропорционально их массам, если произведение плотности на объем заменить несколько сомнительным понятием массы³.

¹ Эти потери в скорости зависят от масс молекул, а, следовательно, от их радиусов r и ρ и потому являются функциями этих последних.

² На это обстоятельство указывал уже Шрамм.

³ Интересно, что Изенкраге, совершенно, так же как и Шрамм, вынужден допустить постоянство отношения $r^2 f(r)/M$ — для того, чтобы из его расчетов

246 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕЛ

После этого Изенкраге оставалось разрешить еще последнюю, но и наиболее трудную задачу, а именно — вывести выражение для *притяжения системы молекул, состоящей из многих расположенных друг за другом слоев*, т. е. для *физического тела*. Для этой цели он предполагает, что позади молекулярного слоя A_1 поставлен параллельно другой равный ему слой A_2 на таком расстоянии A_1A_2 , что последним можно пренебречь по сравнению с расстоянием A_1B между слоями A_1 и B . Тогда в первом приближении можно было бы действия каждого из слоев A_1 и A_2 на слой B считать одинаковыми, а совокупное их действие считать вдвое большим действия каждого из них в отдельности. Но, конечно, это было бы только очень грубым приближением. В самом деле, так как от первого слоя A отразилось некоторое количество, положим Δv , эфирных атомов, то до второго слоя A дойдет уже $v - \Delta v$ атомов, из которых, в соответствии с отношением при первом отражении, может отразиться только $\Delta v(1 - \Delta v/v)$ атомов.

А так как, при прочих равных условиях, притягательные действия слоев зависят только от числа отражающихся атомов, то действия слоев A и A_1 должны быть пропорциональны выражениям 1 и $1 - \Delta v/v$. Отсюда для действия значительного числа последовательно друг за другом расположенных слоев легко получить следующие отношения:

$$1 : \left(1 - \frac{\Delta v}{v}\right) : \left(1 - \frac{\Delta v}{v}\right)^2 : \left(1 - \frac{\Delta v}{v}\right)^3 : \dots$$

Но это приводит к едва ли приемлемому положению, что различные слои тела тяготеют не одинаково и что, следовательно, вес тела не может быть пропорциональным его массе. Правда, на это можно было бы, опираясь на некоторые физические соображения, возразить, что расстояния между молекулами тела огромны по сравнению с размерами самих молекул и что, следовательно, дробь $\Delta v/v$, обуславливающая уменьшение тяготения, чрезвычайно мала. Однако эта дробь все же должна иметь некоторую определенную величину, так как в противном случае не было бы вообще и тяготения. Поэтому Изенкраге пытается с помощью *второго приближения* еще сильнее уменьшить найденное понижение тяготения с увеличением толщины тела. С этой целью он утверждает, что атомы, отражающиеся от первого слоя A или, вернее, соскальзывающие с него¹, не вполне еще бывают потеряны

получилось постоянство ускорения силы тяжести. Однако с этой целью Изенкраге допускает не пропорциональность между массой и поверхностью, как Шрамм, а *равенство величин всех последних составных частиц материи*. Он высказывает предположение, что и весомая материя, в конечном счете, может быть, состоит из эфирных атомов, и в подкрепление этого мнения приводит убеждение многих выдающихся химиков в существовании первичной материи.

¹ Угол отражения в данном случае, действительно, является очень тупым: величина его заключается между 132 и 161° .

СРАВНЕНИЕ СТАРЫХ И НОВЫХ ВОЗЗРЕНИЙ 247

для остальных слоев A ; они попадают еще на эти слои, но только с уменьшенной скоростью. Если через Δc обозначить потерю в скорости, которую испытывают атомы при отражении от первого слоя, мы с помощью простых математических выкладок получим совершенно так же, как и прежде, следующие соотношения между притяжениями расположенных друг за другом слоев:

$$1 : \left(1 - \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{\Delta c}{c}\right) : \left(1 - \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{\Delta c}{c}\right)^2 : \left(1 - \frac{\Delta v}{v} \cdot \frac{\Delta c}{c}\right)^3 : \dots$$

Так как Δc опять-таки можно принять весьма малым по сравнению с c , то при этом *третьем приближении* убыль тяготения еще больше уменьшается, а так как атом не только просто движется вперед, но при наличии многих слоев может быть отражен и обратно, то в результате таких повторных отражений его скорость может быть использована в большей степени и уменьшение притягательного действия слоев может быть сведено к совершенно незаметной величине. *Тем не менее, такое теоретическое уменьшение все-таки остается, а вместе с тем остается в силе и противоречие этой теории общепринятому допущению об абсолютной пропорциональности между массой тела и силой тяжести.* Непосредственно нельзя решить, которое из этих допущений правильно, так как до настоящего времени мы имеем возможность измерять массу только при помощи ее веса. Для разрешения этого вопроса косвенным путем Изенкраге указывает, что согласно его теории тяжесть должна зависеть от расстояния между молекулами, а, следовательно, и от температуры, что при старом воззрении на тяжесть как на первичную силу представляется невозможным. Но так как и по новой теории, тяжесть может лишь очень незначительно изменяться с температурой, то, значит, не приходится ожидать скорого разрешения данного вопроса и этим путем ¹.

Существуют, однако, и другие различия в действии тяжести в зависимости от того, рассматривать ли ее с точки зрения новой или старой теории; с помощью таких различий, может быть, удалось бы скорее разрешить данный вопрос. Согласно ньютоновскому воззрению (равно как и согласно галилеевским законам падения тел) тяготение совершенно не *зависит* от *состояния движения весомых масс*, между тем как согласно кинетическим воззрениям тяготение должно уменьшаться по мере увеличения скорости весомых тел, и притом таким образом, что при равенстве скоростей весомых масс и эфирных атомов тяготение должно стать равным нулю. Шрамм в упомянутых своих работах вполне правдоподобно определил *скорость эфирных атомов* и, таким образом, дал средство для того, чтобы определить уменьшение тяготения под влиянием движения весомых масс. Именно, он нашел, что согласно предпосылкам кинетической теории газов скорость распространения в газах волнообразного движения должна от-

¹ Вопрос о связи между тяжестью и температурой много раз уже подвергался исследованию; последний раз его исследовал Секки в своем сочинении „Единство сил природы“.

248 СТАРАЯ И НОВАЯ ТЕОРИЯ ТЯГОТЕНИЯ

носиться к скорости поступательного движения газовых молекул, как 2:3. В соответствии с этим можно из наблюдаемой скорости распространения звука в воздухе в 332 м получить для скорости поступательного движения молекул воздуха 498 м, т. е. число, лишь немногим отличающееся от вычисленного Клаузиусом числа 485 м. Если этот метод применить и к эфиру, рассматривая его как газообразную материю, мы из скорости распространения света в 42 000 миль получим для скорости поступательного движения эфирного атома 63 000 миль в секунду. Такова, следовательно, должна бы быть скорость весоных масс для того, чтобы эфирные потоки не производили на них никакого действия, вызывающего тяготение. *Близость же этого числа к веберовской постоянной $c=59\,320$, т. е. к скорости, при которой взаимодействие двух движущихся электрических частиц согласно закону Вебера должно быть равно нулю, дает серьезное основание для отождествления тяготения с электрическим притяжением, или, еще больше, для того, чтобы и то и другое свести к одному и тому же источнику — к ударам движущихся атомов эфира.* Тогда согласно закону Вебера следовало бы и тяготение вычислить по формуле:

$$\frac{mm_1}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(v^2 - 2r \frac{dv}{dt} \right) \right],$$

но в этом случае все изменения тяготения, происходящие под влиянием скорости весоных масс, оказались бы совершенно вне пределов наблюдения вследствие большого значения постоянной c и сравнительной незначительности всех скоростей весоных тел. Но зато эти соображения подают еще другую надежду разрешить опытным путем указанное разногласие между обеими теориями. *Если тяготение является непосредственным действием на расстоянии, то оно должно распространяться в пространстве мгновенно; если же оно есть действие эфирных ударов, то оно может распространяться от одной точки пространства к другой максимально со скоростью эфирных атомов.* При огромности поля наблюдения, представляемого нам вселенной, время распространения тяготения должно было бы быть столь же легко наблюдаемой величиной, как время распространения света; к сожалению, в действии тяготения нельзя наблюдать таких перерывов во время его распространения, какие наблюдаются у света, а можно наблюдать лишь минимальные изменения его интенсивности. Такие изменения силы тяжести на земле вызываются *периодическими изменениями положения солнца и луны.* Согласно воззрению Ньютона вес тела (определенный с помощью пружинных весов) должен достигать своего минимума ровно в полдень и своего максимума ровно в полночь; согласно же *кинетическому* воззрению наступление этих моментов должно несколько *запаздывать*. Точно так же и периодическое изменение положения луны должно вызывать подобные же периодические изменения в показаниях очень чувствительных уровней и маятников. Однако до сих пор еще не удалось путем измерения ни констатировать какое-либо изменение в силе тяжести, ни выяснить, происходят ли эти изменения одновременно с их космическими причинами или же они не-

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЯГОТЕНИЯ 249

сколько запаздывают. Целльнер полагал, что вопрос о времени распространения тяготения можно фактически разрешить с помощью *горизонтального маятника*. Устроенный им прибор¹ состоял из горизонтального стержня, подвешенного на нити таким образом, что единственная точка подвеса находилась очень близко к одному из концов стержня. На более длинном плече стержня висел довольно тяжелый груз, а более короткое для равновесия поддерживалось нитью, которая была направлена вниз и там закреплена. Путем сближения точек прикрепления обеих нитей можно было бы по желанию уменьшить направляющий момент стержня и тем повысить чувствительность маятника, но зато, конечно, тем резче проявились бы случайные колебания маятника, вызываемые движениями в окружающей среде. Относительно подтверждения возможной *скорости распространения тяготения* Целльнер в конце вышеупомянутых работ говорит следующее: «Маятник, двигаясь только под влиянием одного солнца, должен был бы, при описанной установке его в меридиане, переходить в продолжение 24 час. четыре раза через свое положение равновесия (в плоскости меридиана), а именно — при восходе и закате солнца и при верхнем и нижнем его прохождении через меридиан. Так как эти движения маятника не представляют собою суммированных действий, подобно действию моря при приливе и отливе, а вызываются непосредственно действием притяжения на расстоянии, то они должны были бы наступать одновременно с соответствующими положениями солнца. Если же,

¹ „Pogg. Ann.", CL, стр. 131 и 134, 1873. Целльнер только во время печатания своего сочинения узнал, что уже в 1862 г. („Comptes rendus", LIV, стр. 728; „Pogg. Ann.", CXVI, стр. 511) Перро описал подобный *горизонтальный маятник*. А после выхода в свет этой работы было отмечено, что Лоренц Генглер еще в 1832 г. („Dingl. Journ.", XLIII, стр. 81) устроил такой же горизонтальный маятник и по поводу его применения сообщил следующее: „В мартовское новолуние я установил весы таким образом, что в полдень плечо рычага находилось на полуденной линии. И вот после этого оно стало проделывать следующие колебания: начиная с двенадцати часов рычаг отклонялся все к западу, и так продолжалось до трех часов; затем он постепенно возвращался назад и примерно после шести часов был снова на полуденной линии; после этого он отклонялся далее к востоку и т. д. Когда я сравнил пределы этих колебаний в различные дни, то оказалось, что отклонения были наибольшими во время новолуния и полнолуния и наименьшими во время квадратур". О совершенно забытом Геншере проф. Цех сообщил („Pogg. Ann.", CL, стр. 496), что он родился 3 февраля 1806 г. в Рейхенгофене и при поддержке благотворителей сначала готовился к изучению богословских наук, а потом изучал в Мюнхене математику и астрономию. После двухлетних занятий, вследствие недостатка средств, он вернулся в Штутгарт для изучения шлифования стекол у одного оптика, но потом вернулся к богословской карьере и был впоследствии пастором в различных местах. Будучи пастором в Мюнцингере, он умер в 1858 г. от болезни дыхательных путей, причем в последнее время он был еще занят устройством огромного телескопа.— О применении пружинных весов для определения вариаций силы тяжести Перро в вышеупомянутом сочинении говорит: „Если к длинной винтообразной пружине подвесить чашку и положить на нее груз, то тотчас же происходит два эффекта: понижение чашки и ее вращение. Если затем пренебречь понижением, то, полагая, из моих опытов можно вывести заключение, что при помощи пружины в несколько метров длиною и очень малого диаметра можно констатировать изменение силы тяжести в 0,01 мм, т. е. действие, в десять раз меньшее максимального действия луны".

250 ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ ТЕОРИИ ИЗЕНКРАГЕ

напротив, для силы тяготения требуется, подобно свету, около восьми минут для того, чтобы дойти от солнца до земли, то наступление вышеупомянутых положений равновесия маятника должно было бы запаздывать на такое именно время. Поэтому, если бы удалось определить моменты перехода его через положения равновесия с точностью до одной минуты, то вопрос о том, необходимо ли время для распространения тяготения, мог бы быть решен даже и в том случае, если бы скорость распространения тяготения в восемь раз превышала скорость света». Однако, насколько нам известно, до сих пор еще не было сделано попытки провести эти решающие опыта. Изенкраге заканчивает свое исследование о загадке тяготения следующими строками: «По моему мнению, один только целльнеровский опыт является действительно решающим. В самом деле, если тяготение не требует заметного времени для распространения своего действия от солнца до земли, то для защитников эфирно-ударной теории не оставалось бы ничего другого, как сказать: скорость эфирного атома настолько велика, что радиус земной орбиты представляется по сравнению с нею ничтожно малой величиной, т. е. высказать такое утверждение, которое большинство физиков заставило бы сомнительно покачать головой. Мне представляется, однако, весьма вероятным, что тяготению предстоит та же судьба, что и свету... Распространение тяготения продолжает считаться мгновенным — на двести лет дольше, чем это принималось для света; не должен ли и для тяготения найтись свой Олаф Ремер, который и для него исчислит число миль в секунду? Но пока это случится, наша теория, разумеется, будет оставаться только гипотезой, и должна будет вести борьбу за существование с другими ей подобными».

Работа Изенкраге над разрешением тайны тяготения является значительным научным вкладом, главная цель которого заключается в осторожной и объективной разработке этой проблемы. В то время как большинство противников тяготения как первичной силы распыляло свои силы по отдельным работам, стремясь подобно агитаторам и пророкам больше утверждать, чем доказывать, Изенкраге шел более медленным и более нормальным путем, он изучал, проверял и сравнивал своих предшественников, брал у них то, что представлялось достаточно надежным, стараясь всегда строго отмечать все гипотетическое. Благодаря этому, с одной стороны, он достиг того, что его работа была замечена и оценена физиками в большей мере, чем многие прежние работы того же рода, а с другой стороны, — его исследованиями было положено более надежное основание для последующих работ и, в пределах осуществимого, была устранена возможность дальнейших нелепых и несостоятельных гипотез. Сам Изенкраге, впрочем, сознавал, что и его разработка не устранила еще всех трудностей вопроса; к сожалению, нельзя не признать, что как раз эти оставшиеся неразрешенными трудности имеют основное значение для разрешения данного вопроса.

Если оставить в стороне теории эфирного давления в собственном смысле, мы имеем двоякого рода кинетические теории тяготения — *волнообразные* и *ударные*, и следует признать, что обе они в состоя-

ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ ТЕОРИИ ИЗЕНКРАГЕ 251

нии вывести тяготение из движения. *Волнообразные теории* имеют при этом большое преимущество в том отношении, что для них в световом и тепловом эфире уже обеспечена колеблющаяся среда и что кажущиеся притяжения и отталкивания, вызываемые волнообразными колебаниями упругих сред, уже доказаны опытным путем. Однако эти преимущества уравниваются трудностью объяснения происхождения и сохранения, вызывающих тяготение колебаний без допущения первичных сил притяжения и отталкивания, а также трудностью математически обосновать переход колебаний с эфира на весомую материю и превращение колебаний в поступательное движение. С другой стороны, — *ударные теории* могут опираться на кинетическую теорию газов лишь при том условии, если для эфира допустить такое же молекулярное строение, как и для газов. Но зато здесь сохранение движущих сил становится, по-видимому, вполне ясным, а превращение движений полностью определяется математическими законами упругого или неупругого удара. *Простота постулатов, наглядность выводов и большая легкость проверки результатов присущи, во всяком случае, в большей мере ударным теориям, чем волнообразным*, вследствие чего мнение физиков в последнее время склоняется больше в пользу первых, чем последних. *Затруднения, препятствующие еще всеобщему принятию ударной теории тяготения, заключаются не столько в даваемом ею объяснении действия сил, сколько в положенных в ее основу атомистических и дуалистических воззрениях на материю.* Изенкраге считает понятия «упругое» и «составленное из частиц» неотделимыми друг от друга и поэтому считает последние элементарные частицы материи, т. е. атомы, совершенно неупругими. А так как в элементарных атомах невозможно превращение внешних движений во внутренние, то происходящая при ударе неупругих атомов потеря силы должна быть абсолютной, вследствие чего закон сохранения энергии должен оказаться неприменимым, во всяком случае, к миру атомов ¹ (для молекул Изенкраге допускает производную упругость, обусловливаемую сложностью их структуры). *Фактически Изенкраге в угоду своей теории ограничивает действие закона сохранения энергии одной только видимой и осязаемой материей, утверждая, что по отношению к массам, лежащим вне сферы наших чувств, т. е. по отношению к атомам, этот закон не доказан и, может быть, неприменим.* Но так как атомы эфира находятся в постоянном взаимодействии с весомыми молекулами, потеря энергии в атомах должна повлечь за собою и потерю энергии в молекулах; поэтому Изенкраге вынужден считать закон сохранения энергии только приблизительно верным и для ося-

¹ „Das Rätsel von der Schwerkraft“, стр. 130: «Закон сохранения энергии представляет собой столь импонирующее достижение нашего столетия в области естественных наук, что весьма понятно, если из уважения к нему прибегают к всевозможным ухищрениям, дабы согласовать с ним абсолютную твердость и неизменяемость эфирных атомов. С одной стороны, перед нами стоит логическое требование не допускать наличия в атомах перемещающихся частей, а с другой — закон сохранения живой силы; тот, кто желает полностью удовлетворить и тому и другому требованиям, оставаясь в то же время на почве основной гипотезы Гюйгенса, находится, по моему мнению, перед неразрешимой задачей».

252 АТОМИСТИКА ЛАССВИЦА

заемой материи, допуская, что окончательные потери энергии исчезающе малы по сравнению с бесконечно большим запасом всей энергии ¹. Но тем самым закон сохранения энергии был принципиально сведен на нет, и Изенкраге со своей теорией вступил в противоречие с этим законом, как своим допущением неупругих атомов он вступил в противоречие с кинетической теорией газов, на почве которой стали расцветать эфирно-ударные теории тяготения. *Оба эти обстоятельства составляют очень серьезный довод против теории Изенкраге и заставляют задуматься, не лучше ли будет все-таки допустить упругость атома и представить себе переход сил с атома на молекулу в духе теорий Лесажа и Шрамма.*

Действительно, многие физики пытались обеспечить применимость закона сохранения энергии и к атомам, приписывая им, несмотря на их элементарность, упругие свойства. При этом указывалось, что, конечно, когда передача движений происходит при посредстве минимальных частиц материи, движение может полностью или частично передаваться и этим частицам, в соответствии с чем и удар может оказаться совершенно или частично неупругим, но что при столкновении простых тел превращение внешнего движения во внутреннее совершенно невозможно и, следовательно, в этом случае удар должен всегда происходить без потери живой силы, т. е. он должен быть упругим. Но если допустить, что в атомах невозможно внутреннее движение, то это значило бы, что атомы абсолютно тверды, и тогда передача движения опять становится непонятной, так как она должна была бы происходить в одной точке и мгновенно, т. е. вне пространства и времени. Эти последние затруднения пытается обойти К. Лассвиц в своем сочинении «Atomistik und Kriticismus» («Атомистика и критицизм» ²), где он выводит законы удара не на основе наглядного построения материи, а в духе критической философии — из теоретико-познавательных основных условий нашего представления о движении. *Лассвиц рассматривает, таким образом, проблему удара с более общей точки зрения, — как проблему передачи или преобразования движений.* Для всех подобных передач он выводит из закона инерции по существу тождественное с последним положение: «Движение может быть уничтожено только равным и противоположным ему движением». Для суждения о равенстве движений необходима мера. Подобными мерами движения являются либо количество движения mv , либо живая сила $\frac{1}{2} mv^2$, в зависимости от того, сравнивают ли дви-

¹ „Das Rätsel von der Schwerkraft“, стр. 152: „Если представить себе известные огромные расстояния между телами нашей солнечной системы и те невообразимо большое пространства, которые отделяют друг от друга неподвижные звезды до отдаленнейших туманных пятен, и подумать, как ничтожно малы по сравнению с ними пространства, реально заполненные непроницаемой материей, то, я думаю, легко придти к выводу, что вся сумма живой силы, которой обладают летающие по этой безграничной арене эфирные атомы, может уменьшиться только на бесконечно малую долю от ударов, происходящих в течение конечного промежутка времени“.

² „Atomistik und Kriticismus. Ein Beitrag zur erkenntnisstheoretischen Grundlegung der Physik“, Braunschweig 1878. — Kurt Lasswitz — преподаватель гимназии в Готе, автор известной „Истории атомистики“.

нения для *равных промежутков времени* или для *равных отрезков пути*. Если, согласно закону инерции, придерживаться постоянства количества движений при всех их преобразованиях, то для всех превращений движения, а вместе с тем и для всех столкновений материальных частиц должны иметь силу оба закона; при всех непосредственных передачах движений сумма количеств движения остается неизменной и при всех непосредственных передачах движений энергия движений есть величина постоянная ¹. Оба эти положения характеризуют все происходящие в природе столкновения материальных частей как упругие. Только в телах, составленных из частей, удар может принять видимость неупругого вследствие того, что часть внешнего движения тел преобразуется во внутреннее движение их частей и, таким образом, представляется как бы исчезнувшей. Там же, где внутреннее движение частиц невозможно, как, например, в неделимых твердых атомах, невозможно и преобразование вида энергии, а вместе с тем невозможна и какая-либо видимая потеря последней. Если, таким образом, мы допустим абсолютную твердость атомов, то тем самым упругий характер их удара получается сам собою ².

С такими заключениями нельзя не согласиться, поскольку для абсолютно неделимых твердых атомов неупругий удар представляется совершенно невозможным. Но, с другой стороны, и в изложении Лассвица понятие о неделимых твердых атомах и возможность передачи силы между такими атомами остаются столь же необъяснимыми, как и раньше. В самом деле, если допустить, что атом еще занимает некоторый объем, то необходимо допустить, что он еще состоит из частей, а тогда нельзя себе представить, чтобы эти части были абсолютно неподвижными, неспособными смещаться. Если атом состоит еще из материи, то он еще имеет сложный состав и части его должны быть подвижны. Понятие о протяжении уже содержит в себе понятие о делимости, абсолютно неделимый твердый атом не должен был бы иметь объема, он должен был бы быть точкой; но в таком случае не достигается цель получения абсолютно твердых атомов; так как допущением твердых атомов как раз стремились обойти нематериальные точечные атомы, которые были предложены Фехнером и другими. Строго говоря, понятие атома лежит за пределами нашей познавательной способности в такой же мере, как и понятие конечной причины. Предельных простых частиц материи мы в нашем познании никогда не можем установить, так как если мы исходим из материи, то каждая ее частица всегда остается все-таки материей и, следовательно, опять-таки делима; если же мы непосредственно исходим из элементарных частиц, то последние приходится представлять себе непротяженными, т. е. точками, а из таких непротяженных точек мы никаким синтезом не получим материи. Последняя частица материи никогда не может быть обнаружена в каком-либо явлении, она

¹ „Atomistik und Kriticismus“, стр. 69—95.

² „Atomistik und Kriticismus“, стр. 96—104. К совершенно таким же результатам, как Лассвиц, пришли Ф. и Н. Мазон в 1883 г. („Beiblätt. zu Wied. Ann.“, VII, стр. 338, 1883. Извлечение авторов из „Известий“ университета св. Владимира в Киеве, январь 1883).

254 ОТНОСИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛИМОСТЬ АТОМОВ

принадлежит к числу идеальных объектов (Gedankending), к разряду «ноуменов» по терминологии Канта; утверждая, что она реальна, атомистика впадает в те же самые противоречия, какие были свойственны: до-критической метафизике.

Между тем для физики вовсе нет никакой необходимости в том, чтобы воспринимать атом в этом метафизическом смысле. *Совершенно достаточно определить атомы как частицы материи, которые для настоящего состояния наших знаний представляются абсолютно простыми, т. е. не состоящими из материальных частей, даже с точки зрения тех свойств, на основании которых мы судим о различных внутренних частичных движениях.* Согласно этому относительному понятию о предельных частицах или атомах, которое уже совершенно усвоила химическая атомистика, атомы могли бы, конечно, быть как упругими, так и неупругими. Но так как мы только что указали на невозможность проявления в атомах каких-либо внутренних движений, мы тем самым уже допустили, что атомы упруги или, по крайней мере, что отклонения их от совершенной упругости должны быть для нас незаметны. Но если бы, напротив, было вполне определенно доказано существование в атомах неупругих свойств, то согласно вышеизложенному воззрению пришлось бы перенести понятие об атомах с этих частиц материи на дальнейшие дробные их подразделения¹.

Таким образом, атом остается для нас предельной частицей материи лишь постольку, поскольку мы не в состоянии признать в нем неоднородности или различия частей. Но тут возникает вопрос, особенно трудный для данного воззрения, в чем же собственно кроется причина существования предельных частичек и какова сила, обуславливающая возникновение этих предельных частиц в материи. Мы не можем уже более допустить существования первичной силы, связывающей между собою частицы, мы отказались также и от возможности построения материи из первично заданных вместе с нею неделимых частиц; *следовательно, для образования предельных материальных частичек остается*

¹ При таком определении атома должен придти к концу и старый спор о непрерывном или прерывном заполнении пространства материей, ибо если отрицается существование минимальных частиц в материи, то, по крайней мере, в идеале отпадает и всякая прерывность последней. В соответствии с этим Краузе („Das nachgelassene Werk Immanuel Kant's", Frankfurt a. M. und Lahr 1888) из кантовской философии, защищающей самым строгим образом непрерывность материи, делает тот вывод, „*что атомистика представляет собою вполне законную форму исследования материи, если только пространству или материи не приписывают извечного мозаичного деления на части, а под атомом понимают каждую произвольно малую частицу материи, соединенную в единое целое*" (стр. 176). Данная Краузе трактовка посмертной работы Канта еще в том отношении совпадает с новыми теориями материи, а также с данной нами раньше характеристикой названной работы (см. вып. I этой части, стр. 49 и сл.), что согласно ей материя может быть постигнута только как нечто движущееся в пространстве и, следовательно, все явления природы должны сводиться к движениям материи. Но когда затем Краузе считает необходимым для объяснения первичных противоположных движений материи допустить в последнем счете существование в ней отталкивательных и притягательных сил, выводя их из кантовской работы, то физик, даже если он является приверженцем кантовской философии, вероятно, останется по этому поводу при особом мнении.

ВИХРЕВЫЕ ДВИЖЕНИЯ. ГЕЛЬМГОЛЬЦ 255

опять-таки та единственная причина, которую кинетическая физика считает первичной действующей в мире причиной, а именно — движение. Действительно, уже со времен Декарта на инерцию частиц указывали как на единственную причину сцепления твердых тел и неоднократно указывали на то обстоятельство, что при быстрых общих движениях, например в водяных струях, происходят явления прочного сцепления. Собственно говоря, кинетические теории соединения материи в отдельные тела и вызвали оживление кинетической физики. Выше мы уже рассказали о деллингсгаузеновском объяснении образования тел стоячими волнами в его колеблющейся материи, однако определение причин указанных выше дифференциаций в совершенно однородной среде составляет для него едва ли разрешимую задачу. Секки стремился вывести чисто кинетически хотя бы системы, составленные из атомов, утверждая, что два вращающихся атома, столкнувшись друг с другом в направлении своих осей вращения, не могут уже более отделиться и должны впредь двигаться совместно; но и при этом допущении все-таки трудно составить себе представление, как о возможном различии, так и о возможном тождестве тел. Скорее такое представление можно было бы составить на основе теории У. Томсона, так как *последняя допускает существование большого количества первично присущих материи различий в движениях.* К сожалению, однако, эта теория так сложна в своих допущениях и требует таких искусственных механических построений, что ее трудно принять за нечто большее, чем за пояснительный пример. В 1858 г. Гельмгольц опубликовал статью «Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen» («Об интегралах гидродинамических уравнений, соответствующим вихревым движениям») ¹, в которой он показал, что в жидкости, части которой движутся без всякого трения: 1) ни одна частица не приходит во вращательное движение, если она не имела его с самого начала; 2) что частицы жидкости, которые в какой-либо момент времени принадлежат к одной и той вихревой линии ², остаются навсегда на этой линии, 3) что произведение поперечного сечения на скорость вращения какой-либо бесконечно тонкой вихревой нити ³ имеет вдоль всей нити постоянную величину, сохраняя ее и при перемещении нити, вследствие чего вихревые нити внутри жидкости должны замыкаться, или же еще могут заканчиваться на границах жидкости. Этими положениями, а также некоторыми дальнейшими выводами, сделанными из них Гельм-

¹ „Journ. für reine u. angew. Mathematik“, LV, стр. 25, 1858; также „Wissenschaftl. Abhandl.“, I, стр. 101.

² „Вихревыми линиями я называю линии, проведенные в массе жидкости таким образом, что их направление повсюду совпадает с направлением мгновенной оси вращения расположенных на ней частиц жидкости“ („Wissenschaftl. Abhandl.“, I, стр. 102).

³ „Вихревыми нитями я называю части массы жидкости, выделенные из последней вихревыми линиями, проведенными через все точки периметра какого-нибудь бесконечно малого элемента поверхности“ („Wissenschaftl. Abhandl.“, I, стр. 102).

256 ВИХРЕВАЯ ТЕОРИЯ АТОМОВ У. ТОМСОНА

гольцем, воспользовался в 1867 г.¹ У. Томсон для попытки *чисто кинетического объяснения неделимого, но все-таки протяженного атома*. Если представить себе вселенную совершенно заполненной какой-нибудь идеальной жидкостью (т. е. жидкостью без всякого внутреннего трения), то согласно положениям Гельмгольца в ней без особого творческого акта не может возникнуть ни одного нового вихревого кольца, а уже существующие в ней кольца без такого же творческого акта не могут быть уничтожены. Таким образом, имеющиеся в жидкости вихревые кольца в силу естественного порядка вещей неделимы и неразрушимы, они сохраняют определенную форму и проявляют известную упругость — в том смысле, что после столкновения двух таких вихревых колец каждое из них колеблется около положения своего равновесия до тех пор, пока полностью не вернется к нему. Вихревые кольца могут иметь различную величину и различную форму; они могут представлять собою просто замкнутые линии или же линии, многократно завитые и переплетенные. Вихревые кольца действуют друг на друга при посредстве среды, в которой они движутся, даже на расстоянии, то сближаясь между собою, то удаляясь друг от друга. Как если бы между ними действовали притягательные и отталкивательные силы. Коротко говоря, эти вихревые кольца обнаруживают все те свойства, которые предполагаются в материальных атомах, поэтому нет никаких препятствий к тому, чтобы представить себе материю состоящей из таких вихревых атомов.

Мы оставим открытым вопрос о том, признает ли Томсон реальное существование вихревых атомов. Но, *во всяком случае, на этом примере он показал, как можно объяснить индивидуализацию в материи, не прибегая к особым силам, а только при помощи особых движений*. Вместе с тем кинетический способ объяснения явлений получил здесь известную завершенность. Этим было доказано, что определению материи как чего-то движущегося в пространстве принципиально ничто не противоречит и что для объяснения сил материи, по-видимому, достаточно одних внутренних движений в последней². Тем не менее, это

¹ „Edinburgh Trans.“, XXV, стр. 217, 1869; «On vortex motion» (доложено 21 апреля 1867 г.).

² Против кинетики как всеобъемлющего физического метода с чисто принципиальной точки зрения выступил в новейшее время Гирн, известный теоретик в области теплоты, в упомянутой уже выше работе („La notion de force dans la science moderne“, „Revue Scientifique“ (3), XXXVI, стр. 129, 1885). Гирн полагает, что без наличия в материи элементарных сил нельзя объяснить *передачи движения* даже при простом ударе и что при ударе атомов следует допустить наличие деформации, благодаря которой возникает напряжение, сообщающее неподвижному атому то движение, которое оно отняло у другого атома. Он придерживается того мнения (которое высказывалось уже и раньше), что движение никогда не может непосредственно перейти в другое движение и что для этого необходим некоторый отличный от материи посредствующий элемент — сила, которая проявляется тройко; как сила тяжести, электрическая и тепловая сила. Однако приведенная только что характеристика атомов показывает, что нет никаких препятствий к тому, чтобы считать их способными и к деформации; кроме того, У. Томсон показал, что и упругие силы также можно вывести из движений и что, следовательно, нет необходимости рассматривать их как первичные свойства материи („Nature“, XXX, стр. 417, 1884). Во всяком случае, и с естественнонауч-

МОЛЕКУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА 257

может быть только началом собственно кинетической физики, так как для нее важна не столько вообще возможность объяснений, сколько конкретное объяснение отдельных вопросов и сведение каждого отдельного физического случая действия силы к особому роду внутреннего движения, лежащего в его основании. Однако в отдельных областях физики и, особенно в учении об электричестве эта работа оказалась еще труднее, чем в области тяготения, чему прямо и следует приписать то обстоятельство, что в новейшее время гораздо меньше работали над полным проведением кинетического воззрения в какой-нибудь одной области, чем над практической проверкой его плодотворности на специальных проблемах во всех областях физики.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА (приблизительно от 1860 до 1880 г.). Убежищами, в которых прежняя физика спасалась от трудностей, возникавших в связи с материей, служили силы, действующие непосредственно на расстоянии; надежности этих убежищ доверяли до такой степени, что, в конце концов, всю материю растворили в силах. Однако, когда узнали, что целые большие классы действий передаются на расстоянии не непосредственно при помощи *сил*, а посредственно при помощи *движений наполняющей пространство материи*, и что законы этих действий можно вывести не из особых сил, а из особых движений, тогда вновь стали усердно вводить в круг исследования *материю*, ее *состав* и ее внутреннюю *структуру*. В то время как раньше оперирование атомами считалось для физика предосудительным и на всю атомистику смотрели довольно косо, теперь, напротив, все более усиливался *спрос на молекулярную физику*. В предыдущем отделе мы изложили попытки, предпринятые для того, чтобы придти к ней путем умозрения; однако в самом благоприятном случае эти попытки могли дать лишь основы для нового воззрения. Для полного построения нового здания, для завершения его в деталях, а также для проверки добытых дедуктивным путем результатов нужны были еще тщательный упорный труд и гениальная изобретательность физиков экспериментаторов, так как теперь от них требовалось не простое наблюдение внешних явлений, но и гораздо более трудное объяснение лежащих в их основе внутренних движений в материи.

В некоторых областях физики, а именно в *оптике*, в учении о *теплоте* и в *акустике*, этот метод праздновал уже свою победу и этим добился общего признания. В *области же механики, несмотря на то, что его в отличие от динамического называли механическим, он еще мало преуспел*. Успехи ньютоновских воззрений в области механики и системы твердых тел затмевали собою исследования, касавшиеся внутренних явлений в телах; долгое время в механике не умели ни правильно поставить, ни правильно использовать, ни работ по исследованию объемных изменений, вызываемых такими механическими силами, как растяжение и давление, ни работ по исследованию взаимодействия между твердыми, жидкими и газообразными телами. Хотя интерес

ной точки зрения представляется более правильным приписывать частям материи те же свойства, что и всей материи, — вместо того, чтобы наделять эти части такими свойствами, в непостижимости которых едва ли сомневается и сам Гирн.

258 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ УПРУГОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ

к таким явлениям с начала нынешнего столетия и стал возрастать, но по началу — лишь медленно, и лишь в последнее время, под влиянием новых воззрений, он достиг относительной высоты и стал всеобщим. То обстоятельство, что в этой чисто механической молекулярной физике все еще продолжают играть большую роль молекулярные силы, не должно особенно удивлять: с одной стороны, они зачастую являются пережитками старых, по привычке еще сохранившихся представлений, а с другой стороны, — они служат вспомогательным средством во всех тех случаях, когда движения, лежащие в основе явлений, еще неизвестны. В самом деле, и согласно кинетической физике эти молекулярные силы допустимы и даже необходимы в качестве обозначения причин известных явлений, — если только не рассматривать их как окончательные причины, как элементарные силы.

Упругие свойства материи уже с давних пор представляли трудности, как для физиков, так и для философов, и даже физики ньютоновской школы большею частью признавали невозможность объяснить упругие свойства, исходя из одних только основных сил материи, — притяжения и отталкивания. Теперь к старым нерешенным еще загадкам присоединилась новая, более непосредственно указывавшая на зависимость действия силы от состояния движения. В 1835 г. Вебер² обратил внимание на одно явление, многократно, правда, наблюдавшееся и до него, а именно, что изменения формы, испытываемые упругими телами под действием внешних сил, достигают своего максимума только по прошествии некоторого времени после начала действия силы и что после прекращения внешнего воздействия первоначальная форма тел восстанавливается только спустя некоторое время. Он дал этому явлению название *упругого последействия* и объяснил его предположением, что движения молекул упругих тел, вызываемые внешними силами давления и натяжения, могут быть разложены на движения поступательные и вращательные; этому вращательному движению, стремящемуся вывести оси упругости молекул из их первоначального положения в другое, соответствующее новым условиям равновесия, должна противодействовать некоторая внутренняя сила, природа которой неизвестна, но сопротивление которой при каждом вращении молекул преодолевается только очень медленно². В 1849 г., в одной математической работе по упругости, к Веберу присоединился и Клаузиус³. Согласно последнему упругое последействие не может быть объяснено выделением теплоты, но скорее надо предположить, что во время действия внешних сил происходят *изменения и внутри тел*. Для случая равновесия, когда упругое последействие уже закончилось, и для случаев столь быстрых движений, что упругое последействие не играет роли, можно, поэтому всегда пользоваться формулами упругости, при-

¹ „Pogg. Ann.“, XXXIV, стр. 247, 1835; полностью в „Pogg. Ann.“, LIV, стр. 1, 1841.

² „Pogg. Ann.“, LIV, стр. 9.

³ „Über die Veränderungen, welche in den bisher gebräuchlichen Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer Körper durch neuere Beobachtungen nothwendig geworden sind“, „Pogg. Ann.“, LXXVI, стр. 46, 1849.

мененными Вертгеймом и Коши. Если же приходится принимать во внимание и упругое последствие, необходимо видоизменить расчет таким образом, чтобы при определении напряжения принимать во внимание не только состояние тела в данное мгновение, но также и предшествующие его состояния. Согласно применяемым ныне формулам колебания тела при отсутствии каких-либо внешних препятствий должны были бы продолжаться бесконечно долго. Однако этому противоречит опыт, из которого явствует, что продолжительность звучания тел, находящихся вне каких-либо внешних влияний, различна; причина этого, как показал Вебер, может заключаться в упругом последствии тел. Клаузиус, подобно Веберу, ищет причину упругого последствия во *вращении* молекул, благодаря которому последние до известной степени следуют за напряжениями, действующими на них неодинаково по различным направлениям. При этом он не предполагает существования какой-либо особой силы, а прибегает лишь к допущению, довольно близкому к веберовскому, что вращения следуют за внешними воздействиями несколько *позднее*, чем смещения.

Однако особенно большое внимание явления упругого последствия возбудили только после опубликования в 1863 и 1866 гг.¹ обширных экспериментальных работ Ф. Кольрауша, который в принципиальном отношении тоже примкнул к точке зрения Вебера. В защиту допущенного им вращения молекул он указал на постоянно наблюдаемый частичный возврат струн после любых изменений высоты их тона к прежнему строю и отметил, что эта последняя перестройка струн, происходящая без всякого внешнего воздействия, может быть объяснена только *изменениями внутренних напряжений*, которые в свою очередь могут быть объяснены только вращениями молекул, при которых центры молекул не изменяют своих взаимных расстояний. Из своих многочисленных и точных опытов Кольрауш вывел следующие *законы упругого последствия*: 1) При изменении внешними силами формы твердого упругого тела молекулы последнего оказывают сопротивление одной части движения (вероятно, вращению их осей), вследствие чего новое положение равновесия наступает только спустя довольно продолжительное время ... При благоприятных условиях это движение бывает ясно заметно еще по прошествии ряда месяцев ... 2) Это упругое последствие по своей величине и продолжительности у различных тел различно. Оно установлено у всех исследованных тел, всего сильнее оно у тел органического происхождения... 3) От длительных изменений вследствие перехода через предел упругости оно, по-видимому, не зависит. 4) Скорость изменения формы, вообще говоря, прямо пропорциональна расстоянию x от положения покоя и обратно пропорциональна некоторой степени времени, отсчитываемого от момента первоначального изменения ... 5) При растяжении степень

¹ „Über die elastische Nachwirkung bei der Torsion", „Pogg. Ann.", CXIX, стр. 337, 1863; „Zur Kenntniss der elastischen Nachwirkung", „Pogg. Ann.", CXXVIII, стр. 1, 207 и 399, 1869. — F. Kohlrausch (1840—1910) — профессор физики, сначала в Вюрцбурге, потом в Страсбурге, в 1895—1905 гг. — президент Государственного физико-технического института в Шарлоттенбурге.

времени сводится, как общее правило к первой; при кручении же, по крайней мере, для небольших смещений, имеем:

$$-\frac{dx}{dt} = \alpha \cdot \frac{x}{t} \quad \text{или} \quad x = \frac{c}{t^2}.$$

6) Величина α имеет для различных веществ различную величину, но для одного и того же тела ее величина постоянна. Она может быть, поэтому названа коэффициентом упругого последствия... 7) Последствие возрастает с температурою t . 8) Повышение температуры в то время, когда частицы, под влиянием упругого последствия, приближаются к своему окончательному положению равновесия, увеличивает их скорость. Таким образом, под влиянием теплоты либо уменьшается сопротивление, либо, что, пожалуй, более вероятно, возрастает сила, стремящаяся повернуть молекулы в их положение равновесия¹. Больцман, совершенно не входя в рассмотрение внутреннего состояния тел, попытался², подобно Клаузиусу, разработать теорию упругого последствия, положив в основание своих математических выводов следующее допущение: *когда тело претерпевает ряд изменений своей формы, то более ранние формы производят еще некоторое влияние на нынешнее состояние молекулярных сил*; влияние это тем меньше, чем дальше отстоят по времени прежние формы; осуществление известного изменения формы требует меньшей силы, если ранее уже происходило изменение в том же направлении. О. Е. Мейер³ полагал, что упругое последствие происходит вследствие *внутреннего трения*, исходя из *молекулярного строения* тел, стремился объяснить упругое последствие и Неезен⁴. Согласно механической теории теплоты молекулы твердых тел колеблются около некоторого положения покоя или равновесия, которое зависит не только от сил, но и от движений соседних молекул. Если под влиянием внешних сил молекулярное равновесие в теле нарушается, то необходимо некоторое время для приспособления молекулярных движений по всей массе тела к новому положению равновесия; по прекращении же действия внешних сил опять-таки необходимо некоторое время для восстановления старого положения равновесия. Неезен показал, что по окончании кручения молекулы стержня, в соответствии с его теорией, продолжают еще в течение некоторого времени выполнять известные движения в направлении нового положения равновесия, и нашел, что допущения Больцмана согласуются и с его теорией⁵. Однако специальное определение молекулярных движений, соответствующих различным сложным явлениям последствия, представлялось и для него весьма сложной зада-

¹ „Pogg. Ann.", CXXVIII, стр. 417—419.

² „Wiener Sitzungsber.", LXX, стр. 275, 1874; „Pogg. Ann.", доп. том VII. стр. 624, 1876.

³ „Pogg. Ann.", CLI стр. 108, 1874.

⁴ „Pogg. Ann.", CLVI, стр. 579, 1876. — F. Neesen (родился в 1849 г.) — профессор Артиллерийской и инженерной школы в Берлине.

⁵ „Pogg. Ann.", CLVII, стр. 586.

чей. С этой точки зрения *против теории Неезена выступил Кольрауш*, опубликовавший новые интересные наблюдения над упругим последствием различных деформаций, сообщенных подряд одно за другим какому-либо телу ¹. А именно, если тело подвергнуть сначала более сильной или более продолжительной деформации, а затем меньшей и более кратковременной деформации в противоположном направлении и если после этого предоставить тело самому себе, то по началу будет преобладать более позднее последствие; но так как оно протекает быстрее последствия, следующего за первой деформацией, то при надлежащем соотношении величин деформаций более раннее последствие может спустя некоторое время получить перевес; таким образом, направление движения тела будет без всяких внешних воздействий менять свой знак. Кольрауш заканчивает свою статью следующими словами: «Я знаю немного столь поразительных явлений, как эти произвольные изменения движения неодушевленного тела. Если вообще вся область упругого последствия представляется в высшей степени своеобразной и до настоящего времени не нашла еще для себя какого-либо удовлетворительного физического объяснения, то во всяком случае одновременное существование нескольких последствий в одном и том же теле безусловно требует изменения тех представлений, которые лежат в основе современной теории упругости. Произвольное изменение одного направления деформации формы на противоположное прямо доказывает, что с одной и той же внешней формой могут быть связаны различные расположения молекул, и что существуют упругие силы, которые могут временно вывести форму тела из ее положения равновесия» ². Ф. Браун ³ попытался на большом числе опытов выяснить, основывается ли упругое последствие на том же *роде молекулярных движений*, что и *упругие смещения*, и не следует ли его рассматривать как остаток последнего, или же молекулярные движения, лежащие в основе обоих этих явлений, следует рассматривать как совершенно различные. На основании своих опытов он пришел к последнему выводу и, подобно Веберу и Кольраушу, склонялся к тому, чтобы приписать упругое последствие вращению молекул, но только для объяснения замедления этого вращения он не считал необходимым допустить какой-либо особой силы сопротивления и полагал возможным вывести его из известных уже молекулярных сил. Значительно дальше пошел в 1882 г. Н. А. Гезехус ⁴, попытавшийся связать упругое последствие с другими известными молекулярными действиями. Из наблюдений упругого последствия, произведенных на каучуке с помощью самопишущего прибора, он полагал возможным установить *аналогию законов упругого последствия с законами охла-*

¹ „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 337, 1876.

² „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 374—375.

³ „Pogg. Ann.", CLIX, стр. 337, 1876. — F. Braun — профессор физики в Тюбингене.

⁴ „Журнал Русского физико-химического общества", XIV, стр. 320, 1882. Извлечение автора в „Beiblättern zu Wiedem. Ann.", VII, стр. 654, 1883. — Н. А. Гезехус (1845—1919) — профессор физики, сначала в Томске, затем — в Петербурге.

262 ВРЕМЯ УДАРА УПРУГИХ ТЕЛ

ждения и нагревания твердых тел, выделения водорода из насыщенного этим газом палладия, с законами гальванической поляризации электродов, далее — с законами оптического последействия или фосфоресценции и явлений остаточного электрического заряда. По мнению Гезехуса упругое последействие во всяком случае, зависит от коэффициента расширения, модуля упругости, нагревания исследуемого тела при его колебаниях и т. д.¹ Его статья заканчивается следующими словами: «Ни одна из предложенных гипотез в отдельности не в состоянии полностью объяснить всех явлений упругого последействия. Полная теория упругого последействия должна была бы исходить из весьма вероятной гипотезы об *обмене между внешним и внутренним эфиром* в телах, а также из гипотезы о *внутреннем трении* и о *взаимодействии между колеблющимися молекулами*».

Г. Шнебелли, измерив *время удара упругих тел*, т. е. продолжительность промежутка времени, в течение которого два ударяющихся тела находятся в соприкосновении, доказал, что скорости распространения упругих смещений при действии достаточно больших сил весьма значительны. Пуллье в 1845 г. нашел, что при очень кратковременном замыкании гальванического тока соответствующие отклонения стрелки гальванометра пропорциональны времени этого замыкания. В 1869 г.² Шнебелли бросал подвешенное в виде маятника тяжелое тело на твердую пластину и наблюдал продолжительность происходящего при ударе замыкания тока, полюсы которого были соединены с маятником и пластиною. Для стального цилиндра весом в 695 г, ударявшегося с высоты 33 мм о тяжелую стальную плиту, Шнебелли этим путем нашел время удара равным только 0,00019 сек. В общем, при ударе об одну и ту же плоскость, продолжительность его оказалась прямо пропорциональной массе ударяющего тела и обратно пропорциональной корню квадратному из модуля упругости; с возрастанием высоты падения время удара, как и следовало ожидать, сильно уменьшалось.

Все исследования над упругостью твердых тел, как и механическая теория тепла, приводили к тому выводу, что частицы твердых тел находятся в непрерывном движении и что при достаточно больших силах они столь же легко смещаются, как частицы жидкости под действием более слабых сил. *И действительно, на опыте удалось показать, что некоторые свойства жидкостей до известной степени присущи и твердым телам*, и таким образом удалось больше сблизить между собою агре-

¹ Некоторые из этих аналогий были уже высказаны раньше. Так, Кольрауш в своей работе 1866 г. о сопротивлении молекул вращению говорит следующее: „Это сопротивление, наоборот, находится в тесной связи с молекулярными процессами, или, — если смотреть на это явление с точки зрения теории теплоты, — с *молекулярными движениями*. Нельзя, по крайней мере, оставить без внимания возможности сведения к последействию ряда *электрических явлений* в изоляторах, и, между прочим, явление *остаточного заряда*. На основании распространенной теории магнетизма можно, по замечанию Видемана („Pogg. Ann.", CXXVI, стр. 1), с уверенностью рассчитывать, что некоторые *магнитные процессы* связаны с последействием" („Pogg. Ann.", CXXVIII, стр. 2).

² „Pogg. Ann." CXLIII, стр. 239 и CXLV, стр. 328. В новейшее время М. Гамбургер тоже воспользовался („Wied. Ann.", XXVIII, стр. 653) методом Пуллье для измерения времени удара.

сатные состояния тел, которые до тех пор так строго разграничивались. Так, А. -Э. Треска в середине шестидесятых годов пришел к выводу, *что твердые тела под сильным давлением вытекают из отверстия в сосуде совершенно так же, как жидкости под влиянием тяжести*. В достаточно прочный цилиндр, с небольшим отверстием на дне, он положил друг на друга несколько свинцовых кружков. Под действием сильного давления, достигавшего в отдельных случаях до 100 000 кг, кружки были выдавлены через отверстие в дне цилиндра в виде тонкой струи. Когда затем пластинки были разрезаны вдоль струи, то деформация отдельных слоев пластинок была заметна по тонким линиям раздела, по которым было видно, что движение свинцовых частиц происходило совершенно так же, как движение частиц жидкости. Когда металлические слои в цилиндре до известного предела уменьшались, то на вытекающей струе можно было даже наблюдать известное явление сжатия. Опыты с пластинками льда дали такие же результаты, но только выступающая струя была прорезана глубокими поперечными трещинами, несмотря на которые она оставалась прозрачной ¹. Кованое железо тоже удалось при помощи парового молота весом, в 12 000 кг продавить через отверстие в 48 мм в диаметре. Из этих опытов Треска вывел общее заключение, что каждое изменение формы твердого тела, происшедшее под действием внешних сил, можно рассматривать как результат течения отдельных частиц, которое идет от точек, где тело подвергается наиболее сильному давлению, по направлению к тем местам, где имеются наименьшие препятствия. В новейшее время Треска подтвердил это положение на деформациях прямоугольного параллелепипеда и цилиндра. Параллелепипед, сжатый с двух параллельных сторон, а с двух других параллельных сторон лишенный возможности расшириться вследствие сопротивления твердых стенок, перешел под влиянием давления в параллелепипед, растянутый в свободном направлении; цилиндр, сжатый между двумя плоскостями, прилегающими к его основаниям, превратился в цилиндр большего диаметра и меньшей высоты. Однако во всех случаях объемы сжимаемых тел до и после сжатия оставались неизменными ².

К подобным же взглядам на отношение твердых тел к давлению пришел около 1880 г. и Спринг ³. Если твердые тела способны под высоким давлением стать текучими, то следует ожидать, что под высоким давлением они могут *свариваться* друг с другом, что смеси твердых тел могут *вступать в химические соединения*, что они могут *кристаллизоваться* и переходить в *аллотропические модификации*. Действительно, при своих опытах над 83 различными веществами Спринг установил,

¹ „Comptes, rendus“, LIX, стр. 754, 1864; LX, стр. 398, 1865; LXIV, стр. 809, 1867. — Henri Édouard Tresca (1814—1885), сначала инженер, с 1852 г. — профессор Консерватории искусств и ремесел, с 1854 г. — также и Нормальной школы в Париже.

² „Comptes rendus“, XCVII, стр. 928, 1883; XCIX, стр. 104, 1884.

³ „Bulletin de l'Acad. Roy. Belgique“ (2), XLIX, стр. 323, 1880, „Recherches sur la propriété que possèdent les corps solides de se souder par l'action de la pression“.

264 ДИФФУЗИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

что эти предположения правильны. Когда опилки из висмута, кадмия и олова были смешаны в пропорции вудовского сплава и подвергнуты давлению в 7 500 ат, то получился цельный кусок металла, который, будучи затем вновь превращен в опилки и снова подвергнут тому же давлению, дал массу, *совершенно аналогичную сплаву* и плавившуюся при 70° С. *Призматическая сера под давлением перешла в более плотную октаэдрическую; аморфный фосфор при тех же условиях перешел в кристаллический и т. д.* На основании этих опытов Спринг признал доказанным, *что каждое тело, даже без сообщения или отнятия у него тепла, принимает то физическое или аллотропическое состояние, которое соответствует сообщенному этому телу объему*¹. В более поздней работе² он, подобно Треска, пришел к заключению, что вообще твердое тело, без перехода в другое агрегатное состояние, не может быть сжато или расширено на продолжительное время, и что, следовательно, длительная деформация твердого тела под влиянием давления может наступить только в результате *временного частичного перехода его в жидкое состояние*. Согласно этому представлению при чеканке монет металл не остается долгое время в сжатом состоянии под штампом, а вместо этого перетекает из сжатых мест в свободные; равным образом длительное искривление стержня следует приписать не частичному изменению его объема, а частичному перетеканию вещества с вогнутой стороны его на выпуклую.

С допущением непрерывного движения молекул в твердых телах согласуются наблюдения, показывающие, что при известных условиях *твердые тела диффундируют* друг в друга, как жидкости и газы. Диффузия угля в расплавленное железо была уже известна с давних пор. В 1878 г. Виолль³ случайно наблюдал на фарфоровом тигле, стоявшем внутри графитового тигля, диффузию угля в фарфор, а Сидней Марсден⁴ заметил, что уголь, накаливавшийся в тигле берлинского фарфора, местами даже проходил сквозь последний. Обширные опыты над диффузией твердых тел произвел впервые Альберт Кольсон в 1881 г.⁵ Согласно им во время прокаливания железа с сажей в восстанавливающей газовой среде не только уголь диффундирует в железо, постепенно превращая его в сталь, но также железо в значительном количестве диффундирует в уголь, причем последнее при относительно более низкой температуре (250°) происходит, по-видимому, даже легче, чем первое. Подобные же опыты с платиной не привели ни к какому результату, так что Кольсон считает диффузию твердых тел, точно так же, как и жидких, связанной с некоторым сродством диффундирующих веществ. Затем Кольсон наблюдал, опять-таки при накалива-

¹ Жаннетá, Неель и Клермон при повторении опытов Спринга пришли частично к другим выводам и оспорили, прежде всего, кристаллизацию под влиянием высокого давления. Спринг, однако, остался при своем мнении и указал на причины, которые могли вызвать неудачу опытов у других физиков („Beiblätter zu Wied. Ann.", VI, стр. 752; VII, стр. 103).

² „Bull. de l'Acad. Roy. Belg." (3), VI, стр. 507, 1883.

³ „Comptes rendus", XCIV, стр. 28, 1882.

⁴ „Proc. of the Roy. Soc. of Edinb.", X, стр. 712, 1880.

⁵ „Comptes rendus", XCIII, стр. 1074, 1881; XCIV, стр. 26, 1882.

ПРОНИКНОВЕНИЕ ГАЗОВ В ТВЕРДЫЕ ТЕЛА 265

нии, диффузию хлористого серебра в хлористый натрий; искусственное сернистое железо, положенное на медную пластинку, отчасти обратилось в сернистую медь, а фортепианная проволока, накалившаяся с известью в саже, усвоила заметные количества кальция. Особенно легко диффундировал через уголь кремнезем; так, окруженная углем и накаливаемая в фарфоровом тигле платиновая проволока скоро обнаружила некоторое содержание кремния, перешедшего из тигля.

На проникновение газов в металлы и другие твердые тела, равно как и на полную проницаемость последних для первых, теперь стали смотреть с новой точки зрения с повышенным интересом. Луйе уже в 1849 г. ¹ произвел интересные в этом отношении наблюдения. «Если горизонтальную, вытекающую из капиллярного отверстия струю водорода направить на вертикально стоящий в нескольких миллиметрах от этого отверстия листок бумаги, то газ проходит через бумагу. Но газ не просеивается сквозь бумагу, как это можно было бы думать, — прошедшая струя сохраняет свою форму и может быть зажжена позади бумаги совершенно так же, как если бы последней вовсе не было. Губчатая платина, помещенная позади бумаги в направлении струи, тоже накаливается. Давления газа в 10—12 см водяного столба оказывается для этого достаточно. Те же явления, что с бумагой, имели место с листовым золотом и серебром. Струя проходит также через гуттаперчевые пленки, но через стеклянные стенки, даже очень тонкие, прохождение газа не было замечено».

В середине шестидесятых годов Сент-Клер-Девиль и Трост ² в интересах санитарных исследований занялись более детально вопросом о прохождении газов через металлы. Чугунная печь, какая в Париже применяется для отопления военных караулен, была окружена железным колпаком. Печь разогревали до темного или светло-красного каления и затем из-под колпака брали воздух для анализа на содержание водорода и окиси углерода. В 1000 л воздуха оказалось при этом от 0,23 до 1,07 л водорода и от 0,22 до 0,71 л окиси углерода. При другом опыте водород настолько быстро ушел через стенки закрытых трубок из кованой стали, накаливаемых в печи, что в этих трубках оказалось почти безвоздушное пространство. Таким образом проницаемость металлов для газов была доказана, и теперь вопрос шел лишь о том, следует ли ее рассматривать как проникновение газов через поры металлов, или как поглощение газа металлом на одной стороне и выделение его на другой. Опыты Калльетэ ³ говорили в пользу первой точки зрения. Склепанный из тонких железных листов и замкнутый со всех сторон приемник, внутри которого проходила тонкая медная трубка для вывода оттуда газов, Калльетэ погружал в серную или соляную кислоту. Спустя некоторое время из медной трубки выходил чистый водород. Появление водорода Калльетэ объяснил следующим

¹ „Bull. de l'Acad. Roy. Belg.", XV, стр. 297, 1848; „Pogg. Ann.", LXXVIII, стр. 287. — P. L. Ch. E. Louyet (1818—1850) — профессор химии в Брюсселе.

² „Comptes rendus", LXVI, стр. 83, 1868; LXVII, стр. 965, 1868. — Et. H. Sainte-Claire-Deville (1816—1881) — профессор химии в Нормальной школе и в Сорбонне в Париже. Louis Troost (родился в 1826 г.) — профессор в Париже.

³ „Comptes rendus", LXVI, стр. 847, 1868. — L. Cailletet — академик в Париже.

266 АБСОРБЦИЯ ГАЗОВ

образом: газ, выделившийся в железе под действием проникшей в него кислоты и лишенный возможности выйти наружу через кислоту, проходил через железо внутрь приемника. Поэтому он полагал, что железо проницаемо для газов даже при обыкновенной температуре, а так как количество выделившегося водорода оказалось пропорциональным поверхности погруженного железного приемника, то представлялось, что ток газа вызывается не какой-нибудь особой силой, но свободно проникает через поры железа. Однако с этим выводом не согласился Т. Грэхем, раньше уже много занимавшийся вопросом о *поглощении газов* металлами. Он высказал мнение¹, что прохождение водорода через тонкие железные листы при низкой температуре, какая была при опытах Калльетэ, могло быть вызвано только самой кислотой; водород, правда, *поглощается* железом в значительном количестве при низкой температуре, но вновь *выделяется* им лишь при очень высокой, достигающей почти температуры ярко-красного каления. Подобные явления, согласно Грэхему, имеют место и у других металлов, платины и даже палладия, поглощающего водород сильнее всех прочих металлов. В форме губчатого порошка палладий поглощает 655 объемов водорода, но при обыкновенной температуре он не выделяет его даже в вакууме, а начинает терять газ только тогда, когда температура достигает 100°. «Я склонен поэтому думать,— говорит Грэхем, — что прохождению водорода через металл всегда предшествует сгущение или поглощение этого газа. Однако следует допустить, что скорость прохождения не пропорциональна объему поглощенного газа, в противном случае палладий был бы гораздо более проницаем при низкой температуре, чем при высокой. Пластика палладия была совершенно освобождена от водорода при 267°; тем не менее, она оставалась проницаемой и ее проницаемость даже увеличивалась при более высоких температурах. Количество водорода, удерживаемого металлом при более высокой температуре, не может быть заметным; тем не менее, я полагаю, что некоторое количество его все-таки удерживается и что через металл проходит некий род быстрой цементации»². Но, конечно, указанный здесь факт, что палладий выделяет весь водород при 267° и становится, тем не менее, все более проницаемым, до известной степени говорит против мнения Грэхема, так как трудно допустить, чтобы металл при той температуре, когда он выделяет весь водород, все еще поглощал последний. Грэхем указал, между прочим, что, несмотря на то, что при обыкновенной температуре каучук теряет весь абсорбированный водород, он все-таки сильно проницаем для него и даже сильнее, чем для углекислоты, которую он удерживает в большом количестве³. Грэхем указал еще на то обстоятельство, что со свободным прохождением газов через поры

¹ „Einsaugung des Wasserstoffs durch Metalle“, „Pogg. Ann.“, CXXXIV, стр. 321, 1868. Также „Comptes rendus“, LXVI, стр. 1014, 1868.

² „Pogg. Ann.“, CXXXIV, стр. 328.

³ На проницаемость каучука для газов указал в 1841 г. Пейрон и доказал ее на опытах („Comptes rendus“, XIII, стр. 820; „Pogg. Ann.“, LVI, стр. 587). Согласно Пейрону эта проницаемость каучука почти совершенно исчезает после вымачивания его в льняном масле.

АБСОРБЦИЯ ГАЗОВ 267

металлов не согласуется тот факт, что металлы проницаемы не для всех газов вообще, а, насколько известно, *только для водорода и окиси углерода*, и что с этой стороны *проникновение газов через металлы аналогично диффузии жидкостей через перепонки*, где тоже одновременно происходит притяжение и выталкивание жидкостей.

Вообще Грэхем трактовал абсорбцию газов металлами совершенно своеобразно: он рассматривал ее не как чисто механическое действие внешних и внутренних поверхностей, а скорее *как некоторый род химического соединения*. Так как абсорбция водорода палладием сильно изменяет физические свойства последнего — его плотность, сцепление, электропроводность, и так как абсорбированный водород действует тоже иначе, чем свободный, то Грэхем представлял себе соединение обоих этих веществ в виде *сплава палладия с другим металлом, парами которого при этом является обыкновенный водород* ¹.

Этот взгляд встретил со стороны многих физиков и химиков полное, а со стороны некоторых даже восторженное признание. Однако, так как водороду вместе с названием металла не было присвоено какого-либо нового качества и так как сплавы по своей природе оставались еще мало исследованными, то вся эта идея Грэхема принесла мало пользы или даже вовсе ее не принесла.

Объяснение проницаемости металлов для газов абсорбцией последних металлами представляло ту общую со всеми явлениями диффузии трудность, что оно не давало возможности решить, принадлежат ли действующие здесь силы к разряду чисто механических, или же они частично являются и химическими. Но поглощение газов, даже при чисто поверхностных механических действиях, всегда осложняется *уплотнением* газа, влияющим в свою очередь обратно на поглощение. Т. де-Соссюр ² в 1812 г. заметил, что абсорбция газа пористыми телами

¹ „Über das Verhalten des Wasserstoffs zum Palladium“, „Pogg. Ann.“, CXXXVI, стр. 317, 1869; из „Comptes rendus“, LVIII, стр. 101. „Neue Beobachtungen über das Hydrogenium“, „Pogg. Ann.“, CXXXVIII, стр. 49, 1869; из „Comptes rendus“, LVIII, стр. 1511. Присутствие водорода в *метеоритных* массах Грэхем доказал уже ранее („Comptes rendus“, LIV, стр. 1067, „Pogg. Ann.“, CXXXI, стр. 151, 1867); по его мнению, здесь тоже можно предположить наличие сплава железа с металлом водородом. Кусок метеорита из Ленарто, промытый горячей калийной щелочью и потом несколько раз водой и, наконец, освобожденный насколько возможно от всех газов с помощью шпренгелевского аспиратора, при накаливании все еще выделял газ в количестве в 2,85 раза большем собственного объема, и этот газ состоял на 86% из водорода. Опыты Грэхема с поглощением газов металлами были подтверждены в 1881 г. Ганнеем („Proc. of the Roy. Soc.“, XXXII, стр. 407). При опытах по искусственному изготовлению алмазов он зачастую наблюдал кажущееся исчезновение "водорода и углеводородов из толстостенных (2 дюйма) трубок, хотя проверка с помощью гидравлического пресса не выявляла возможности какого-либо просачивания. Оказалось, что это исчезновение происходило вследствие абсорбции. Другие твердые тела, например стекло, сильно поглощали кислород и угольную кислоту даже при температуре свыше 200° и под давлением в 200 ат. Абсорбированные газы удерживались этими телами при их охлаждении, когда давление оставалось неизменным, и выделялись только с повышением температуры.

² „Sur l'absorption des gaz par différents corps“, „Ann. de chim. et de phys.“, XLIX и L, 1812; „Gilbert's Ann.“, XLVII, стр. 113, 1814.

268 ЗАКОНЫ АБСОРБЦИИ ГАЗОВ

всегда сопровождается выделением теплоты. Митчерлих¹ высказал предположение, что абсорбированные углем газы находятся в нем в *жидком состоянии*. Фавр и Зильберман в 1853 г.², пользуясь теплотой поглощения, прямо доказали, что плотность газов, поглощенных на поверхности твердых тел, например угольной и сернистой кислот, должна быть больше, чем плотность этих же веществ в *жидком* или даже, вероятно, в *твердом* состоянии. В это же время Квинке³ в своих работах исходил из допущения, что приставший к поверхности твердого тела слой газа вблизи этой поверхности имеет плотность, одинаковую с телом, а с удалением от нее она уменьшается до плотности окружающей газовой среды, откуда следовало, что *сгущение газов на твердом теле прямо пропорционально плотности этого тела*. Г. Фр. Вебер⁴ в 1872 г. пришел к выводу, что количества различных газов, которые поглощаются на поверхности какого-либо твердого тела, или *так называемые поверхностные слои* (Wandschichten), *прямо пропорциональны квадратным корням из плотностей газов и, следовательно, обратно пропорциональны их молекулярным скоростям*. О. Мейер в 1877 г.⁵ нашел, что этот закон вполне согласуется с воззрениями механической теории теплоты. Согласно ему прилипание газовых частиц к твердым телам следует объяснить силами притяжения, которые удерживают на стенке попадающие на нее частицы, либо его следует объяснить таким образом, что легкие газовые молекулы, при своих столкновениях с более грубыми молекулярными агрегатами твердой стенки, зачастую совершенно теряют свою кинетическую энергию и остаются на стенке в состоянии покоя до какого-нибудь нового толчка, который вновь приведет их в движение. Согласно обоим этим взглядам следует предположить, что полной потере скорости могут подвергнуться только медленнее движущиеся молекулы; более же быстрые сохраняют еще достаточно энергии, чтобы отразиться от стенки. Это и привело Мейера к выводу, что *абсорбция газа должна быть обратно пропорциональна средней скорости молекул, или, что то же, прямо пропорциональна плотности газа*. Однако при экспериментальном измерении абсорбции газов с помощью стеклянных нитей Кайзер⁶ установил, что этот закон не подтверждается. Количество абсорбированного газа зависит, согласно его данным, во-первых, от плотности газового слоя на стенке, которая определяется *взаимодействием между*

¹ „Ann. de chim. et de phys." (3), VIII, стр. 18, 1844. — E. Mitscherlich (1794—1863) — профессор химии в Берлине.

² „Ann. de chim. et de phys." (3), XXXVII, стр. 406, 1853. Шаппюи („Arch. de scienc. phys. et nat." (3), VI, стр. 225, 1681) в новейшее время подтвердил эти данные; согласно ему теплота, развивающаяся при поглощении газа жидкостью, как общее правило, меньше той, какая выделяется при абсорбции того же газа твердым телом, но всегда больше теплоты сжигания этого газа.

³ „Pogg. Ann.", CVIII, стр. 326, 1859.

⁴ „Tageblatt der 45 Naturf.-Versamml.", стр. 113, Leipzig 1872.

⁵ „Kinetische Theorie der Gase", стр. 309, Breslau 1877.

⁶ Heinr. Kayser (профессор в Ганновере), „Über die Verdichtung von Gasen an Oberflächen in ihrer Abhängigkeit von Druck und Temperatur", „Wied. Ann.", XIV, стр. 450, 1881. „Важный шаг от пористых тел с неизвестною поверхностью, — говорит Кайзер, — к пучкам стеклянных нитей с известною поверхностью сделал Магнус" („Pogg. Ann.", LXXXIX, стр. 604, 1853).

ЗАКОНЫ АБСОРБЦИИ ГАЗОВ 269

газом и стенкой, и, во-вторых, от толщины сгущенного газового слоя, которая обуславливается уже *природою самого газа*. При дальнейшем исследовании оказывается, что первое явление обуславливается имеющимися на поверхности тела свободными молекулярными силами, равно как химическим сродством между газом и стенкою, а последнее зависит от *расстояния между молекулами газа, от скорости молекул, от температуры* и, наконец, от силы сцепления газа. Опыты подтвердили, что *повышение давления усиливает, а повышение температуры, наоборот, понижает абсорбцию* и что последняя зависит, прежде всего, от природы газа: *легче сгущаемые газы всегда проявляли и сильную абсорбцию*. Однако, вполне надежных общих законов, ввиду сложности этих явлений, получить не удалось.

Частью совершенно противоположные результаты получил Бунзен¹, который ввел в круг исследования новый элемент — *время*. Бунзен воспользовался при своих опытах (подобно Кайзеру) капиллярными стеклянными нитями, какие применяются в стекляннопрядильном производстве. Нить длиною в 62 геогр. мили весит всего 150 г и, представляя поверхность в 23 м², занимает объем всего только в 100 см³; поэтому она допускает столь малую внутреннюю абсорбцию, какая только возможна. Из наблюдений над абсорбцией угольной кислоты Бунзеном были введены следующие законы: «1) *Стационарное состояние сгущения газа не наступает не только через несколько часов или дней, но даже через несколько лет*. 2) В течение трехлетнего периода опыта, несмотря на внезапные и постепенные изменения давления и температуры, *никогда не происходило заметного отделения сгустившейся на поверхности углекислоты*. 3) Внезапные изменения ртутного давления от 0,3521 до 0,5696 м, от 0,5450 до 0,7171 м, от 0,7168 до 0,5355 м и от 0,4431 до 0,5248 м не дали *никакого заметного изменения в непрерывном ходе сгущения газа*. 4) В температурном интервале от +23 до —0,8° С с *повышением температуры происходит ускорение, а с понижением — замедление* процесса сгущения газа. 5) Поверхность стекла в 13,628 м² по истечении первого года абсорбировала 42,91 см³ углекислоты, по истечении второго года — 57,94 см³ и по истечении третьего года — 69,98 см³, т. е. за первый год она абсорбировала 42,91 см³, за второй — 15,03 см³ и за третий — 12,04 см³. Таким образом, за три года на 1 м² поверхности стекла было сгущено 5,135 см³ при 0° и 0,76 м давления»². Расхождение этих выводов со всеми ранее полученными результатами Бунзен объясняет неправильностью установившегося в прежнее время предположения, будто максимум сгущения газа наступает уже через несколько часов или дней, вследствие чего все последующие изменения абсорбции приписывали изменениям давления или температуры. Бунзен опровергает и другое предположение, будто в данном случае имеет место не явление прилипания, а только химическое разложение стекла, указывая,

¹ „Wied. Ann.", XX, стр. 545, 1883. — Rob. Wilh. Bunsen (1811—1899), в 1838 г. профессор химии в Марбурге, в 1851 г. — в Бреславле, а с 1852 г. — в Гейдельберге.

² Газ, остававшийся еще на стеклянных стенках при давлении 0,99 мм ртути, не был здесь принят во внимание („Wied. Ann.", XX, стр. 555—556).

270 ЗАВИСИМОСТЬ АБСОРБЦИИ ОТ ВРЕМЕНИ

что слабый угольный ангидрид не в состоянии разложить силикатов стекла. Поэтому, по мнению Бунзена, здесь возможно лишь следующее чисто механическое объяснение явлений. «Подобно тому, как тяжелая твердая или жидкая масса окружается газовой атмосферой убывающей плотности, точно так же на поверхности твердых и жидких тел должны образоваться, вследствие капиллярных притяжений, газовые скопления убывающей плотности, а так как эти исходящие из поверхности притяжения, по исследованиям Квинке, могут быть прослежены на расстоянии $0,000005\text{ см}$, то сгущенные в течение трех лет на $10\ 000\text{ см}^2$ стеклянной поверхности $5,135\text{ см}^3$ углекислоты при 0° С и $0,76\text{ м}$ ртутного давления должны заключаться в пространстве $0,05\text{ см}^3$, т. е. *по меньшей мере*, сгуститься от $5,135$ до $0,05\text{ см}^3$. Но такому сгущению соответствует давление в $102,7\text{ ат}$. Так как углекислота при температуре наблюдения 19° С уже становится жидкой под давлением $57,5\text{ ат}$, то не может подлежать никакому сомнению, *что поверхность стекла покрыта слоем жидкой углекислоты*. Если бы весь газ, заключающийся в упомянутых $5,135\text{ см}^3$, находился в жидком состоянии, то, так как удельный вес жидкой углекислоты при 19° С равен $1,137$, — толщина этого слоя под атмосферным давлением составила бы только $0,000008\text{ мм}$. Легко, однако, понять, что этот слой никогда не может переступить той высоты, на которой убывающее с расстоянием капиллярное давление становится равным упругости пара жидкой углекислоты, и что выше этого предела все еще должна существовать атмосфера газообразной углекислоты убывающей плотности. Эти соображения, правда, объясняют наблюденное сгущение газа, но не объясняют, почему этот процесс сгущения растягивается на ряд лет. В соответствии с опытом теория скорее требует мгновенного наступления состояния равновесия в газовых массах, подверженных давлению. *Поэтому значительная продолжительность сгущения газа едва ли может быть объяснена иначе, чем на основе допущения, что стекло не вполне проницаемо для газов и что частицы жидкой углекислоты, проникая в промежутки между молекулами стекла, должны преодолевать сопротивление, которое, как показывает наблюденный ход сгущения газа, с течением времени возрастает*. Только дальнейшие наблюдения могут решить вопрос, существует ли такой момент, когда проникновение жидкой углекислоты в стекло можно признать исчезающе малым. Если бы такой момент существовал, то после наступления его процессы сгущения газа должны были бы существенно измениться, тогда толщина слоя жидкой углекислоты не уменьшалась бы более вследствие проникновения ее внутрь стеклянной массы, наряду с увеличением высоты облегающей углекислотой атмосферы. Вместе с утолщением жидкого слоя при продолжающемся сгущении облегающая углекислая атмосфера должна скорее уменьшаться в высоту, а вместе с нею должно постоянно уменьшаться и давление со стороны этой атмосферы на поверхностный слой жидкости; это должно было бы продолжаться до тех пор, пока давление на поверхность жидкости не достигло бы величины упругости пара углекислоты при существующей температуре. С наступлением такого момента на поверхности жидкого слоя углекислоты, при прочих равных условиях, уже не может далее

ЗАВИСИМОСТЬ АБСОРБЦИИ ОТ ВРЕМЕНИ 271

иметь места ни сгущение, ни испарение; но когда давление или температура изменяются, они вновь тотчас же появляются». В конце своей статьи Бунзен упоминает, что атмосферный воздух ведет себя по отношению к гладким стеклянным поверхностям аналогично углекислоте и что, напротив, у угля и у подобных ему пористых тел стационарное состояние сгущения газа наступает сравнительно быстро. Эти выводы Бунзена не остались без возражений. Прежде всего, Кайзер ¹ указал, что проникшая якобы в стекло углекислота вероятнее всего была абсорбирована жирной смазкой стеклянных приборов и диффундировала через нее в воздух. Бунзен опроверг ² это возражение на опытах с приборами без смазанных жиром притертых частей; но затем в следующей работе ³ занялся более детальным исследованием того влияния, которое оказывают на сгущение газов осаждающиеся на поверхности стекла налеты влаги, остающиеся там, несмотря на тщательное высушивание. И действительно, он нашел, что осевший на стеклянных нитях налет влаги испарялся постепенно лишь при температуре в 503° С, тогда как после высушивания нитей путем длительного пропускания сухого воздуха при температуре 215° на них все еще оставался слой воды в 0,00000645 мм толщины, при 107° — слой в 0,00000703 мм, а при 23° — слой толщиной в 0,00001055 мм. Конечно, влияние этого слоя воды при температурах ниже 500° должно быть довольно значительным, однако оказалось, что как раз при наличии этого влияния *приведенные Бунзеном в его первой работе законы и объяснения сгущения газов сохраняют полную силу.*

Подобную же ненадежность по вопросу о природе действующих сил представляли тогдашние воззрения на сущность *растворов твердых тел в жидкостях* и на их положение между механическими смесями и химическими соединениями. Длительная неизменность состава растворов указывала на близость их к химическим соединениям. Некоторые физики, правда, утверждали, будто им удавалось наблюдать выпадение растворенного вещества из растворителя, хотя и весьма медленное. Однако значительно большее число физиков придерживалось противоположного мнения. Либен, например, показал в 1857 г. ⁴, что раствор поваренной соли, остававшийся в течение четырех месяцев в вертикальной стеклянной трубке длиной в два метра, после вскрытия ее дал во всех слоях такое же отношение между содержанием соли и жидкости, какое было в начале опыта. В. Алексеев ⁵ попытался объяснить положение растворов между смесями и соединениями с помощью действия молекулярных сил. По его мнению, растворы являются продуктами чисто физического взаимодействия их составных частей. В первую очередь растворение обуславливается сцеплением растворяемого тела,

¹ „Wied. Ann." XXI, стр. 495, 1884.

² Там же, XXII, стр. 145, 1884.

³ Там же, XXIV, стр. 321, 1885.

⁴ „Liebig's Ann.", CI, стр. 77, 1857. — A. Lieben (родился в 1836 г.) — профессор химии Венского университета.

⁵ „Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch.", XVI, стр. 2273; XVII, стр. 38, 1884. — В. Ф. Алексеев (1852—1919) — физико-химик, профессор Горного института в Петербурге.

272 ЗАКОНЫ РАСТВОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ

так как чем слабее сцепление, тем больше растворимость. Вызывается же растворение прилипанием; растворение газов аналогично прилипанию газов к твердым телам. Жидкости с весьма различным сцеплением не прилипают друг к другу и не растворяются друг в друге. Твердые тела обладают всегда меньшей растворимостью, чем жидкости, и растворяются (вследствие равновесия между сцеплением и слипанием) только в известном отношении. Растворы двух жидкостей относятся к жидким смесям, как изоморфные смеси к сплавам. Пересыщенные растворы — это такие растворы, в которых растворенное вещество находится в переохлажденном состоянии. Ле-Шателье ¹, пытавшийся около 1885 г. в нескольких статьях вывести законы химического равновесия из простых исходных предположений, пришел при этом и к законам растворов. Из выведенной им формулы $dx/x = k/\delta \cdot Q \cdot dt/T^2$, где x обозначает коэффициент растворимости, Q — теплоту растворения при насыщении и t — температуру раствора, вытекало, по крайней мере давно уже признанное верным правило, что изменение dx/dt растворимости соли имеет одинаковый знак с теплотой насыщения Q , т. е. что растворимость возрастает вместе с температурой у всех тел, которые при растворении поглощают тепло, и обратно.

Как при растворении, так и обратно при выкристаллизовывании солей из растворов действующие причины не были еще вполне выяснены. Баумгауер указал в 1868 г. ², что помимо сильного охлаждения и продолжительного выпаривания, пересыщенные соляные растворы могут быть доведены до выкристаллизовывания соли только путем соприкосновения их с частицей одинаковой или изоморфной соли. Томлинсон ³ в том же году высказал мнение, что кристаллизация вызывается соприкосновением с поверхностями, загрязненными органическими веществами, жирными или маслянистыми налетами, которые изменяют поверхностное натяжение в растворах. В противовес ему Ливерсайдж ⁴ выступил с защитой взглядов, аналогичных взглядам Баумгауера, так как согласно его опытам только кристаллы той же соли действуют как зерна кристаллизации. Подобные зерна носятся уже в воздухе, откуда, попав в раствор или пристав к жирным, маслянистым налетам на телах, они вызывают наблюдаемую Томлинсоном кристаллизацию. Но в то же время, наоборот, толстые слои жира или масла, покрывающие жидкости, оказываются лучшим средством для того, чтобы предотвратить кристаллизацию пересыщенного раствора. К подобным же результатам пришел Жерне ⁵, который уже в 1886 г. ⁶ нашел, что твердые тела при погружении их в жидкости только тогда выделяют растворенные в последних газы, когда поверхность самих тел

¹ „Comptes rendus“, XCIX, стр. 786; C, стр. 50 и 441; CI, стр. 1005 и т. д., 1885.

² „Erdmann's Journ. f. pract. Chemie“, CIV, стр. 449.

³ „Proc. of the Roy. Soc.“, XX, стр. 41; также стр. 342, 1868.

⁴ Там же, стр. 497.

⁵ „Comptes rendus“, LXXV, стр. 1705, 1872.

⁶ Там же, LXIII, стр. 217, 1866.

ЗАКОНЫ РАСТВОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ЖИДКОСТЯХ 273

покрыта газом, и что после удаления этого поверхностного слоя выделения газов не происходит. Эти явления напоминают, — разумеется, отдаленным образом, — резонанс колебательных движений, где колебание воспринимается материей только в том случае, когда части ее по своему положению и по своим свойствам настроены соответствующим образом. Однако весьма вероятно, что в растворенном веществе всегда имеется некоторое стремление к прочному состоянию равновесия и что пересыщенный раствор может кристаллизоваться и от действия неоднородного с ним вещества, если только последнее в состоянии, с помощью новых молекулярных сил или движений, нарушить молекулярное равновесие раствора.

Подобно сгущению газов на поверхности твердых тел более внимательное изучение капиллярных явлений указывало, по-видимому, на возможность *сгущения жидкостей на поверхности твердых тел*. В 1857 г. в «Comptes rendus»² появилось краткое сообщение Вертгейма о капиллярных явлениях, дополненное в 1861 г. в «Ann. de chim. et de phys.» материалами из его посмертных работ², где Вертгейм доказал, что основы капиллярной теории Юнга и Лапласа неточны в том отношении, что эти физики допускали пропорциональность между поднятым объемом жидкости и длиной линии соприкосновения жидкости с твердым телом. Лаплас утверждал, *что объемы жидкости, поднимающейся между параллельными плоскостями, исчисленные на единицу длины линии соприкосновения, всегда одинаковы, и что количества жидкости, поднимающейся в трубках, всегда вдвое больше предыдущих*. Вертгейм, подтвердив первое положение, вместе с тем нашел, *что в одной и той же трубке высоты поднятия для некоторых жидкостей были меньше, а для других больше тех, какие должны были бы быть согласно второму положению Лапласа, и что в различных трубках объемы поднявшейся жидкости варьировали с диаметрами трубок*. Вертгейм поэтому считал необходимым допустить для различных жидкостей и различных диаметров трубок *различие в толщине слоев жидкости*, приставших к стенкам твердых тел и молекулярно изменившихся. Десен³, однако, и после Вертгейма полагал возможным сохранить *полное постоянство* отношения поднявшихся объемов жидкости между плоскими пластинками и в трубках. Отклонение результатов Вертгейма он приписал *неполному смачиванию* поверхностей в его опытах. Вильгельми в 1863 г., напротив, вновь подтвердил данные Вертгейма на основании новых тщательных опытов, проведенных при другой установке⁴. Если тело простой правильной формы, например

¹ „Comptes rendus“, XLIV, стр. 1022.

² „Ann. de chim. et de phys.“ (3) LXIII, стр. 129.

³ „Comptes rendus“, XLV, стр. 225, 1857.

⁴ „Über die Abhängigkeit der Capillarconstanten des Alkohols von Substanz und 'Gestalt der benetzten Körper“, „Pogg. Ann.“, CXIX, стр. 177, 1863. „Über die Abhängigkeit der Capillaritätscoefficienten der Flüssigkeiten von ihrer Zusammensetzung“, „Pogg. Ann.“, CXXI, стр. 44, 1864. „Über die Abhängigkeit der Capillaritätscoefficienten der Flüssigkeiten von der chemischen Beschaffenheit und der Gestalt der festen Wand“, „Pogg. Ann.“, CXXII, стр. 1, 1864. В последней статье Вильгельми обещал дать дальше продолжение своих исследований, но умер, не успев довести их до конца.

274 ВЫЧИСЛЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОЙ ПОСТОЯННОЙ

прямоугольную пластинку или цилиндр, вес которого в воздухе равен P , погрузить до определенной глубины в жидкость и определить в этом положении его вес Π , а также определить вес вытесненной воды V . и вес поднявшегося около него вследствие капиллярности объема жидкости A , то должно быть $\Pi = P - V + A$. Если здесь положить A равным произведению длины λ линии соприкосновения (между жидкостью и телом) на вес поднятой жидкости, приходящейся на единицу длины линии соприкосновения, а V равным произведению удельного веса s жидкости на погруженный объем v тела, то получится $\Pi = P - vs + \alpha\lambda$, откуда легко определяется капиллярная постоянная

$\alpha = (\Pi - P + vs) / \lambda$. Однако, Вильгельми, подобно Вертгейму, отметил, что вычисленная таким путем постоянная в действительности не характеризует собой данной жидкости, а изменяется в зависимости от формы и вещества погруженного тела. Можно допустить, что *эти изменения происходят вследствие прилипания слоя жидкости к поверхности погруженного тела и, может быть, от сгущения ее на этой поверхности*; в таком случае эту часть жидкости не следовало бы прибавлять к вытесненной телом, и предыдущая формула превратилась бы в следующую: $\Pi = P - vs + O\beta + \alpha\lambda$, где O обозначает погруженную поверхность, а β — сгущенную на единице поверхности часть жидкости или *коэффициент сгущения*. Следовательно, если одно и то же тело погрузить несколько раз в какую-нибудь жидкость до различной глубины, то из полученных при этом различных уравнений можно исключить член α . и затем вычислить β , α после этого и α . Для гладких плоских пластинок, погруженных в алкоголь, Вильгельми получил следующие величины:

Для стекла..... $\beta = 0,0125932$ $\alpha = 2,3250$

„ серебра $\beta = 0,0151214$ $\alpha = 2,4444$

„ латуни..... $\beta = 0,0232646$ $\alpha = 2,4476$

„ цинка..... $\beta = 0,007089$ $\alpha = 2,3263$

„ алюминия . $\beta = 0,0071589$ $\alpha = 2,3065$ ¹

тем самым было доказано *различие коэффициента сгущения* для различных твердых веществ. Этим же путем Вильгельми установил различие коэффициентов сгущения у одних и тех же веществ, когда лишь кривизна поверхностей твердых тел была неодинакова. Однако интересно, что и после введения в формулы коэффициента сгущения все еще, как прежде у Вертгейма, но только в меньшей степени, оставались налицо *расхождения в величине постоянной капиллярности α* . Вертгейм приписывал причину наблюдаемых им расхождений *различной толщине сгущенных на твердых телах слоев жидкости в зависимости от кривизны поверхности*. Вильгельми же видел причину этих наблюдаемых и им отклонений в величине так *называемого краевого угла*, зависящей от сгущенных слоев и *изменяющейся вместе с ними*. До сих пор этот угол у смачивающих жидкостей считали всегда

¹ „Pogg. Ann.", CXIX, стр. 194.

КАПИЛЛЯРНОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ 275

равным 0 или 180°. Вильгельми же обратил внимание на то обстоятельство, что согласно новым опытам жидкости поднимаются не непосредственно по твердому телу, а по слою жидкости, сгущение которой изменяется вместе с поверхностью, и что в зависимости от этого сгущения должен ¹ изменяться и краевой угол. Позднее к Вильгельми, прежде всего по последнему вопросу, примкнул и Квинке, уже давно заметивший колебания капиллярной постоянной при своих многочисленных измерениях этой величины, но давший им сначала иное объяснение ². Относительно отклонения краевого угла у смачивающих жидкостей от 0 или 180° он в 1877 г. высказал следующее ³: «Краевой угол водных растворов соли для стекла колеблется от 20 до 30°, между тем как до сих пор соляные растворы обычно рассматривали как жидкости, смачивающие стекло, и краевой угол их принимали равным 0°, вследствие чего величина капиллярной постоянной преуменьшалась приблизительно на 10%» ⁴. В этой же статье Квинке исследует упомянутое уже Гагеном и Вильгельми *изменение капиллярной постоянной с течением времени*. «Очень интересны, — говорит он, — изменения, выступающие постепенно после образования уже свободной поверхности жидкостей и продолжающиеся очень долго; я мог бы их сравнить с тем явлением в твердых телах, которое Вильгельм Вебер назвал упругим последствием. Эти явления указывают сначала на быстрое, а затем на все более и более медленное уменьшение сцепления или поверхностного натяжения. У простых жидкостей, как чистая вода или чистый алкоголь, такое уменьшение составляет только несколько процентов начальной максимальной величины, но с прибавлением незначительных количеств соли или кислоты оно очень значительно повышается» ⁵. Рассмотрев разнообразные допущения для объяснения этого явления, Квинке приходит к заключению, что, действительно, проще всего было бы признать его аналогичным *упругому последствию твердых тел*, и затем продолжает: «Подобно тому, как упругое положение равновесия частиц твердого тела наступает лишь постепенно или по истечении бесконечно долгого времени, точно так же могло бы постепенно наступать и положение равновесия пограничных частиц жидкости. Необходимо некоторое время для того, чтобы стало стационарным то изменение молекулярной структуры, которое частицы жидкости проявляют на поверхности соприкосновения с воздухом или другими жидкостями и которое может быть обнаружено по одновременному изменению температуры, электродвижущей силы и по другим свойствам. Капельные жидкости должны обладать и в этом отношении такими же свойствами, как и так называемые твердые тела» ⁶.

¹ В пользу существования на поверхности твердого тела пограничного слоя жидкости неодинаковой плотности и различной толщины в 1861 г. снова очень определенно высказался Муссон („Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellschaft in Zürich", XV, стр. 305, 1871; Klein, „Revue der Fortschritte d. Naturw.", II, стр. 3).

² „Pogg. Ann.", CXXXIX, стр. 89, 1870. — G. Quincke (1834—1924) — профессор физики в Гейдельберге.

³ Там же, CLX, стр. 337 и 560, 1877.

⁴ Там же, стр. 339.

⁵ Там же, стр. 340.

⁶ Там же, стр. 584.

276 РАСТЕКАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Приведенное выше положение о краевом угле Квинке в появившейся вслед затем работе о растекании жидкостей по твердым телам ¹ дополняет следующими положениями: «Краевой угол, образуемый свободными поверхностями различных жидкостей, как вода, алкоголь и т. д. а также водных и спиртовых растворов солей, — с чистым стеклом, хрустальными и металлическими поверхностями, равен 0° . Жидкости растекаются по чистым твердым поверхностям. Если краевой угол, как это обыкновенно бывает, имеет большую величину, это значит, что твердая поверхность покрыта (незаметным) тонким слоем постороннего вещества, с толщиной которого изменяется и краевой угол. Толщина этого тонкого слоя, однако, не должна превышать некоторой определенной максимальной величины, а именно величины радиуса сферы действия молекулярных сил. Этот тонкий слой, прилипший к поверхности твердого тела, может состоять из твердого, жидкого или газообразного вещества. Он может состоять также из самой растекающейся жидкости и может быть обнаружен не только по краевому углу, но также по так называемой ползучести солей или по электропроводности на поверхности твердого тела, а в отдельных случаях — с помощью интерференционных цветов отраженного от него света. Незаметно тонкие слои одной и той же жидкости имеют, в зависимости от продолжительности и способа их возникновения, или от природы твердого тела, к которому они прилипают, — различные свойства. Быстро образовавшиеся капли воды растекаются по свежеччищенной стеклянной поверхности легче, чем медленно образовавшиеся. Эти чрезвычайно тонкие слои постороннего вещества составляют, по-видимому, и причину расхождения между теорией и опытом при определении поверхностного натяжения на общей границе между жидкостью и твердыми телами. Если краевой угол равен 0° , или же он невозможен, то происходит растекание жидкости по поверхности твердого тела. В жидкостях, которые смешиваются в любом соотношении, жидкость с меньшим поверхностным натяжением вытесняет ту жидкость, у которой поверхностное натяжение больше. Однако это поверхностное натяжение и возможное вытеснение изменяются с природою твердого вещества. Изложенное является дополнением к теории Брюке о поверхностной диффузии вдоль твердой стенки. Присутствие других жидкостей и в особенности воздуха может существенно видоизменить распространение жидкости по твердой поверхности. Зависимость краевого угла от толщины незаметно тонкого слоя на твердой поверхности объясняет потные изображения Мозера и Вайделе, полученные с водяным паром, световые изображения Дагерра с парами ртути, электрические потные изображения Карстена и Рисса с парами воды, ртути и йода» ².

¹ „Wied. Ann.", II, стр. 145, 1877.

² Упомянутая здесь статья Квинке является продолжением и исправлением его большой работы 1870 г. „Über Capillaritätserscheinungen an der gemeinschaftlichen Oberfläche zweier Flüssigkeiten" („Pogg. Ann.", CXXXIX, стр. 1). Мы лишены возможности упомянуть здесь о многих других появившихся около этого же времени работах по вопросу о величине и свойствах поверхностного натяжения. Обращаем только особое внимание на работу Фр. Мельде

СВОБОДНАЯ ДИФФУЗИЯ СОЛЯНЫХ РАСТВОРОВ 277

Если при изучении капиллярных явлений ученые еще целиком оставались на почве динамической физики ¹ и при наблюдении растекания жидкостей думали только об отталкивательных силах, а не об отталкивательных движениях, то при изучении *диффузии жидкостей* уже начали появляться следы кинетических аналогий. Еще до разработки механической теории газов и, следовательно, раньше, чем стала возможна какая-либо кинетическая теория диффузии газов, А. Фик ² путем тщательных исследований установил, что *свободная диффузия соляных растворов происходит по законам совершенно аналогичным законам распространения тепла в твердых телах*. В полном соответствии с известным законом Фурье Фик установил для свободной диффузии солей закон, согласно которому количество соли, проходящее за известное время в направлении убывающей концентрации через некоторый элемент поверхности, должно быть пропорционально *величине этого элемента поверхности, промежутку времени, величине убывания концентрации на месте нахождения элемента поверхности то направлению течения и, наконец, постоянной диффузии k* , величина которой зависит от природы соляного раствора. Измерения Фика в то время были многократно оспорены; однако более поздние исследования привели к результатам, подтвердившим правильность его закона. Иоганнисянц в 1877 г.³, исследуя диффузию растворов поваренной соли и воды, нашел, что, в общем, она соответствует закону Фика, хотя отдельные величины постоянных диффузии в его опытах колебались около некоторой средней величины.

„Experimentaluntersuchungen über Blasenbildung in kreisförmig cylindrischen Röhren“, Marburg 1868 и 1870), в которой исследуются воздушные пузыри в воде, алкоголе и т. д., а также ртутные капли на пластинках и в узких трубках, так как в этой работе явления поверхностного натяжения рассматриваются опять-таки с новой точки зрения.

¹ Один только Кант в своей посмертной работе „Vom Übergange von den metaphys. Anfangsgründen d. Naturw. zur Physik“ уже объяснял капиллярность на основе *кинетической* точки зрения: „Вода в стеклянных трубках, — говорит он, — при соприкосновении со стеклом становится еще более жидкой (а следовательно, и легче) вследствие сотрясения эфира, так как все сотрясения связаны с увеличением объема... Это сотрясение водяной пленки, стремящейся на поверхности стянуться и принять сферическую форму, ослабляет притяжение между частицами самой воды и увеличивает ее соприкосновение с пустотой путем соприкосновения со стеклом, сотрясение которого больше сотрясения водяной пленки“ („Altpr. Monatsschr.“, XX, стр. 354; Krause, „Das nachgelass. Werk Imm. Kant's“, стр. 186). В этой работе Кант также утверждает, что в капиллярных трубках вода поднимается по трубке жидкости, прилипшей к стеклу: „Если однако отвлечься от смелости гипотезы, допускающей существование такой действующей на расстоянии силы, которая была бы равна тяжести, то эта сила все-таки была бы в состоянии поднять в волосных трубках водяной столб, но не водяной газ. Ибо если внутренность стеклянной трубки была однажды (путем всасывания) достаточно высоко смочена, то вода уже не висит более на сухом стеклянном кольце, расположенном над нею, а на воде, смачивающей трубку изнутри“ („Altpr. Monatsschr.“, XX, стр. 424; Krause, „Das nachgel. W. I. Kant's“ стр. 187).

² „Pogg. Ann.“, XCIV, стр. 59, 1855. — А. Fick (родился в 1829 г.) — профессор медицинского факультета в Вюрцбурге.

³ „Wied. Ann.“, II, стр. 24, 1877.

278 МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В ЖИДКОСТЯХ

В 1878 г. опыты Г. Ф. Вебера¹ также подтвердили элементарный закон диффузии Фика; однако, согласно его опытам, этот закон требует в одном пункте небольшой поправки, которая, впрочем, необходима и для закона Фурье. А именно, величина диффузии соляных растворов постепенно убывает с концентрацией, совершенно так же, как внутренняя теплопроводность медленно понижается с понижением температуры, тогда как согласно приведенному закону обе эти величины должны оставаться постоянными. Если уже эта аналогия указывала на то, что в основе диффузии жидкостей, как и газов, должны лежать внутренние движения, то присоединившиеся сюда другие факты еще более ясно указывали на зависимость этих явлений от молекулярных движений. Шумайстер², подтвердив отмеченный уже Г. Вебером в указанной выше работе факт, что диффузия с повышением температуры усиливается, установил, кроме того, что диффузия идет параллельно *коэффициенту внутреннего трения*, а может быть и *величине электропроводности рассматриваемой жидкости*. Наконец, — и это было всего важнее, — было установлено, что для возникновения диффузии нет никакой необходимости в соприкосновении разнородных жидкостей с их различными силами прилипания и сцепления и что эти явления имеют место в одной и той же жидкости при различных состояниях ее частей, например при *различных температурах*. «Так как диффузия происходит и при самых ничтожных различиях жидкостей, то отсюда, как говорит Леман³, заключают, что она возможна и тогда, когда нет совершенно никаких различий, т. е. когда речь идет только о частях одной и той же жидкости. Следовательно, в каждой жидкости должны постоянно происходить внутренние незаметные для нас течения».

Некоторое время даже думали, что *свободные движения внутри жидкости* или даже *движения ее молекул* доступны для непосредственного нашего наблюдения. Известный ботаник Роберт Броун в 1827 г.⁴, при помощи сильно увеличивающего микроскопа, заметил в воде с взвешенными в ней мелкими пылинками твердого тела своеобразные, очень неправильные колебательные движения, которые после этого многократно наблюдались другими лицами и были описаны под названием броуновских молекулярных движений. Вскоре затем Мунке высказал предположение⁵, что причиной этих движений являются проходящие через жидкость световые и тепловые лучи. Но Винер⁶ в 1863 г. до-

¹ „Vierteljahrsschr. d. naturf. Gesellsch. in Zürich“, XXIII, стр. 325, 1878.

² „Wiener Sitzungsber.“, LXXIX, стр. 603, 1879. Согласно Шумайстеру положение Вебера, что постоянная диффузии убывает с концентрацией, не имеет общей силы. В большинстве случаев, по-видимому, даже имеет место обратное явление.

³ O. Lehmann, Molecularphysik, I, стр. 264, Leipzig 1888. К сожалению, к моменту появления работы Лемана наша книга находилась уже в такой стадии, что мы этой работы не могли использовать в такой степени, в какой нам это представлялось желательным. — O. Lehmann — профессор Политехнической школы в Карлсруэ.

⁴ „Pogg. Ann.“, XIV, стр. 294, 1828. ⁵ Там же, XVI, стр. 160, 1829.

⁶ Там же, CXVIII, стр. 79, 1863. — Ludwig-Christian Wiener (родился в 1826 г.) — профессор Политехнической школы в Карлсруэ.

СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКИХ ПОТОКОВ 279

казал несостоятельность всех объяснений, искавших причины этих явлений вне жидкости. Согласно Винеру особенность жидкостей заключается в том, что молекулы их совершают колебания, одинаково направленные с колебаниями заключенных в них атомов эфира, и эти-то сами по себе невидимые *молекулярные колебания* и вызывают видимые движения мельчайших частичек. Однако все последующие работы Экснера, фан-дер-Менсбругге¹ и других по своим выводам расходились и с этим объяснением и сводили причину броуновских движений к *течениям в жидкостях*, которые, во всяком случае, не тождественны непосредственно с молекулярными движениями. Подобный же результат дали исследования своеобразных *вихревых движений*, которые появляются на поверхности соприкосновения двух жидкостей, на поверхности мыльного пузыря, на маленьких кусочках камфары, плавающей на воде, и т. д. — явлений, которые впервые более точно были исследованы Дютроше² в 1841 г. и Е. Г. Вебером³ в 1855 г. Работами фан-дер-Менсбругге⁴, Томлинсона и других было почти достоверно установлено, что эти явления происходят вследствие *растекания* жидкостей друг по другу, *испарения* и *диффузии* жидкостей⁵.

Однако сильнее, чем в статических явлениях проявлялось действие внутренних движений жидкостей в явлениях движения последних, и, прежде всего в том, что при всех движениях жидкостей все яснее выявлялось *внутреннее сопротивление*, возникновение и передача которого указывали на существование *внутреннего трения жидкостей*, совершенно аналогичного по своим законам внутреннему трению газов. Уже при измерении *скоростей течения* в реках и открытых каналах выяснилось, что эти скорости зависят как от высоты падения воды, так и от *сопротивления русла*, что вследствие этого скорости в отдельных точках поперечного сечения потока весьма различны и что изучение распределения этих скоростей составляет очень сложную

¹ Там же, CXXXVIII, стр. 323, 1869; CXLVI, стр. 623, 1872.

² „Comptes rendus“, XII, стр. 229, 126 и 598, 1841; „S. 1. cause des mouvements que présente le camphre placé à la surface de l'eau“.

³ „Pogg. Ann.“, XCIV, стр. 447, 1855: „Mikroskop. Beob. sehr gesetzmässiger Bewegungen, welche die Bildung von Niederschlägen harziger Körper aus Weingeist begleiten“.

⁴ „Pogg. Ann.“, CXLVI, стр. 623.

⁵ См. также О. Lehmann, Molecularphysik, I, стр. 264 и сл., Leipzig 1888. Течения внутри и на поверхности жидкостей, вызываемые изменениями температуры и внешними вращательными движениями, исследовал Вильгельм фон-Бецольд (профессор метеорологии в Берлине), применивший для этого интересный метод, с помощью которого эти течения можно было сделать видимыми; для этой цели он пускал на поверхность жидкости или внутрь ее капли окрашенных гектографических чернил („Wied. Ann.“, XXIV, стр. 27 и 569, 1885; XXXII, стр. 171, 1887). О. Рейнольдс („Nature“, XXX, стр. 88, 1884) выявляет внутренние движения в жидкостях, вводя в них краску полосами. Нередко встречающиеся разногласия между теоретической и экспериментальной гидродинамикой он в этой работе объясняет присутствием в жидкостях внутренних движений, которые не принимаются в расчет гидродинамикой. Больше того, он утверждает, что внутренние движения могут изменять и законы движения твердых тел; так, например, подвешенный на нити полый шар, с невидимым вращающимся внутри его тяжелым колесом, должен вести себя совершенно иначе, чем массивный шар, имеющий совершенно такой же внешний вид.

280 СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКИХ ПОТОКОВ

задачу. Весьма многочисленные и тщательные измерения скоростей течения рек произвели в течение 1851—1861 гг. на р. Миссисипи по поручению американского конгресса А. Гемфрейс и Л. Аббот¹. Своими измерениями они подтвердили много раз уже высказанное положение, что скорости всех точек, расположенных по отвесу в глубине реки, образуют по своим размерам *параболу* и что наибольшая скорость приходится не на поверхность реки, а довольно глубоко под нею (в Миссисипи на 0,317 глубины реки). Из этих измерений, равно как и из прежних опытов, на верхнем Рейне, на Сене, на бургундском канале и др. Гаген² вывел формулу для средней скорости v течения $v = 2,425 \sqrt{t} \sqrt[6]{a}$ м, где a обозначает относительное падение, а t — величину поверхности поперечного сечения потока, разделенную на периметр русла. При этом, однако, оказалось, что отдельные скорости в русле настолько сильно зависят от *сопротивлений трения* не только на *стенках*, но и на *поверхности*, а сверх того также от *неправильностей русла, расширений, сужений, изменений его направления* и т. д., что средняя скорость в действительности может быть определена только путем точных измерений многих отдельных скоростей. В соответствии с этим Греве³ при измерениях, произведенных им в 1877 г. по поручению правительства на Одере и Варте, установил, что отношения скоростей частичек воды на отдельных вертикальных линиях, равно как на целых поперечных сечениях и их частях, очень изменчивы; что для уменьшения скорости по вертикальным линиям от поверхности воды до дна реки нельзя вывести никакого закона; и что, таким образом, на основании данных о скоростях и верхних слоях воды нельзя даже и приблизительно судить о скоростях в нижних и средних слоях. Различия в скоростях частиц текущих вод приводят нас, прежде всего к двум категориям причин: во-первых, к *изменению направления движения* отдельных частиц, обусловливаемому изменениями сечения потока, расширениями и сужениями речного русла, отклонениями от прямой линии и т. д.; во-вторых, к *непосредственному уменьшению скорости*, вызываемому трением текущих вод о твердые окружающие предметы. Изучением действия первого рода причин очень усердно и плодотворно занимался Вейсбах⁴, собравший в 1855 г. в своем главном труде «Die Experimentalhydraulik, eine Anleitung zur

¹ „Theorie und Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen nach dem Berichte Humphreys-Abbot's" von Grebenau, München 1867 („Report upon the Physics and Hydraulics of the Mississippi River", составленный группой Humphreys-Abbot, появился в 1861 г.).

² „Über die Bewegung des Wassers in Strömen", „Abhandl. der Berliner Akademie", 1868.

³ „Civilingenieur", XXV, стр. 173, 1879; „Revue der Fortschr. d. Naturw. v. Klein", IX, стр. 28, 1881.

⁴ Julius Weisbach (1806—1871) — профессор горной академии в Фрейберге. В названном выше сочинении Вейсбах разбирает подробно также и явления истечения и описывает названный по его имени аппарат для истечения, который он, впрочем, описал еще раньше в 1848 г. в журнале „Polytechn. Centralblatt". К законам фонтанов он вернулся в 1861 г. в очень интересной работе („Dingler's Journ." CLXI, стр. 402). Для отношения между высотой давления h и высотой подня-

Ausführung hydraulischer Versuche im Kleinen», Freiberg 1855 («Экспериментальная гидравлика, руководство по проведению гидравлических опытов в малом масштабе»), результаты своих долголетних исследований. Однако теоретически более важной была причина второго-рода, так как она непосредственно приводила к более глубокому пониманию *природы* жидкостей. Раньше сущность жидкости и характерные признаки, отличающие ее от других агрегатных состояний, усматривали в том, что две частицы ее, правда, производят друг на друга некоторое притяжение, или вызывают сцепление по направлению соединяющей их прямой, но зато они могут быть с абсолютной легкостью перемещены друг относительно друга по направлению, перпендикулярному к этой линии. Хотя согласно этому представлению и было возможно некоторое внешнее трение жидкости о стенки канала, в силу прилипания, но действия трения, строго говоря, не могли распространиться за пределы этого прилипания. Однако фактически наблюдаемая передача задержки течения от стенок вглубь жидкости указывала на то, что допущенная абсолютная подвижность частиц в жидкостях не может иметь места и что здесь скорее должна существовать какая-нибудь сила, препятствующая такому перемещению, под действием которой при различной скорости движения двух соседних слоев, более быстрый из них замедляется, а более медленный ускоряется. Силу, вызывающую явление внутреннего трения жидкостей, называли *вязкостью* жидкостей. При измерении вязкости по тем сопротивлениям, которые она вызывает при течении жидкостей, стали для равномерности действий применять закрытые трубки, а для того чтобы по возможности исключить всякие нарушения правильности этих явлений, вследствие изменения направления движения частиц и их толчков, стали брать капиллярные трубки. Такого рода исследования над движением воды в узких цилиндрических трубках Гаген произвел уже в 1839 г. ¹. Очень обстоятельные и тщательные *измерения скоростей в капиллярных трубках* произвел также Пуазелль в течение 1840—1847 гг. ². Он нашел, что объемы жидкостей, про-

тия s Мариотт дал формулу: $\frac{h}{s} = 1 + \frac{s}{300}$ (парижских фут.), а д'Обюиссон — $s/h = 1 - 0,1h$ (м); но обе эти формулы применимы лишь к малым высотам давления.

Вейсбах дал формулу: $s = \frac{h}{a + \beta h + \gamma h^2}$, и путем наблюдений, при которых высота струи измерялась с помощью теодолита, а давление манометром, нашел, что при круглом вытечном отверстии диаметром в 7,1 мм

$s = \frac{h}{1 + 0,010348h + 0,0011851h^2}$. С увеличением вытечного отверстия увеличивается и высота выбрасываемой струи.

¹ „Pogg. Ann." XLVI, стр. 423, 1839.

² „Recherches exp. s. le mouv. des liquides dans les tubes de très-petites diamètres", „Mém. Sav. étrang.", IX, стр. 433, 1846; в извлечении еще в „Ann. de chim. et de phys." (3), VII, стр. 50, 1843; также в „Pogg. Ann.", LVIII, стр. 424, 1843. „S. le mouv. des liquides de nature différente dans les tubes de très-petites

282 ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ

ходящих за определенное время через капиллярную трубку, выражаются формулой $Q = kHD^4/L$, где H обозначает высоту давления, D — диаметр, L — длину трубки и k — некоторый коэффициент, величина которого зависит от *природы жидкости* и от ее *температуры*. Начиная с шестидесятых годов интерес, сосредоточился, главным образом, на определении этого коэффициента в различных жидкостях, который называли *постоянной внутреннего трения*. Гагенбах, пришедший в 1860 г. ¹ к формуле, вполне соответствующей формуле Пуазелля, при этом прямо определил *вязкость* (или постоянную трения) *жидкости как силу, необходимую для перемещения со скоростью, равной единице, слоя жидкости толщиной в одну молекулу и единицы поверхности, около другого слоя — на расстояние двух молекул*. При этом он сделал допущение, что *трение пропорционально, величине трущейся поверхности и относительной скорости трущихся слоев* ², но, вопреки ожиданию, нашел, что трение не зависит от давления, и установил значительное *понижение его с температурой*. В остальном из его исследований выяснилось, что трение зависит только от природы жидкости, а не от свойства стенок трубки. Таким образом, трение внутри жидкостей должно совершенно перевешивать внешнее трение между жидкостью и стенкой; а это последнее обстоятельство можно было понять только при допущении столь полного *прилипания ближайшего слоя жидкости к стенкам трубки*, что трение происходит уже не между стенкой и жидкостью, а между слоями самой жидкости. С этими выводами в основном совпали и выводы, полученные О. Мейером ³ около

diam.", „Ann. de chim. et de phys." (3), XXI, стр. 76, 1847. О своих опытах Пуазелль помещал сообщения в „Comptes rendus", начиная с 1840 г. („Comptes rendus", XI, стр. 961 и 1041, 1840; XII, стр. 112). — Jean Leon Poiseuille (1799—1869) — практиковавший парижский врач.

¹ „Bestimmung der Zähigkeit einer Flüssigkeit durch den Ausfluss aus Röhren", „Pogg. Ann.", CIX, стр. 385, 1860.

² Смотри также по этому вопросу выше в отделе о трении газов (стр. 214) Гагенбах говорит следующее о пропорциональности между внутренним трением и скоростью: „Это допущение оправдывается указанием на то, что при двойной скорости частица должна отрываться от вдвое большего числа частиц; но лучше всего правильность этого допущения доказывается тем, что с помощью его получаются формулы, совпадающие с данными опыта" („Pogg. Ann.", CIX, стр. 392). Эта пропорциональность между скоростью и внутренним трением существенно отличает последнее от трения при скольжении твердых тел, которое оказывается независимым от скорости, а при очень больших скоростях даже уменьшается с увеличением скорости. Варбург и Бабо („Wied. Ann.", II, стр. 406, 1877) отсюда сделали тот вывод, что это внешнее трение в большей своей части происходит, вероятно, не под влиянием молекулярных притяжений и не под действием слоев газов или жидкостей, сгущенных на поверхностях, но скорее вызывается неровностями поверхностей и их упругостью.

³ „Über die Reibung der Flüssigkeiten", „Pogg. Ann.". CXIII, стр. 55, 193 и 383 (опытные результаты) и „Crelle's Journal", LIX, стр. 229 (математические выводы). Большая часть этой работы Мейера была представлена еще в конце 1857 г. в Кенигсбергский университет для соискания премии, которой она и была удостоена в январе 1853 г. (в двойном размере). Идеи Мейера о трении и о коэффициенте трения были уже изложены выше в теории трения газов. Благодаря тому, что Мейер постоянно сравнивал трение жидкостей с трением

КОЭФФИЦИЕНТ СКОЛЬЖЕНИЯ. ВНЕШНЕЕ ТРЕНИЕ 283

того же времени для внутреннего трения жидкостей; его опыты были проведены по другому методу, который он вскоре применил и к измерению трения газов и который был нами уже выше описан. При помощи диска, вращающегося в воде, он нашел для внутреннего трения величины сходные, хотя и несколько бо́льшие величин, полученных из опытов Пуазелля, доказал, что внутреннее трение в воде и соляных растворах меньше, чем в масле, и подтвердил, что внутреннее трение пропорционально поверхности и относительной скорости, что оно значительно уменьшается с температурой и что при движении кружков тоже не наблюдалось такого внешнего трения, которое бы замедляло движение. При всем том в других случаях, конечно, могло проявиться и действие внешнего трения; действительно, опыты Петровского, произведенные им в 1860 г.¹, по предложению Гельмгольца, показали, что при особых обстоятельствах может происходить частичное скольжение жидкости по твердому телу. В предположении существования некоторого внешнего трения Гельмголец вывел для количества жидкости, вытекающей из стеклянных трубок, формулу:

$$Q = \frac{\pi (p_0 - p_1)}{8k^2 L} (R^4 + \lambda R^3),$$

где p_0 обозначает давление в начале трубки, p_1 — в конце ее, R — радиус, L — длину трубки, k^2 — коэффициент внутреннего трения и, наконец, λ — *коэффициент скольжения*², т. е. некоторую постоянную, зависящую от природы стенки и жидкости, и противоположную трению. Опыты заключались в том, что сосуд правильной формы, например полый шар, наполненный жидкостью, приводили во вращение около его оси и затем наблюдали уменьшение величины его размахов. Из этих опытов выяснилось, что для движения воды в стеклянных сосудах с гладкими хорошо вычищенными поверхностями коэффициент скольжения можно положить равным нулю, т. е. что соприкасающийся со стенкой слой воды крепко прилипает к сосуду; что подобное же явление имеет место для алкоголя и эфира в металлических сосудах с полированными и позолоченными стенками; но что вода в таких сосудах проявляет *несомненное внешнее трение* и вместе с тем скольжение по поверхности. Эта тема потом разрабатывалась еще несколько раз. Варбург в 1870 г.³ нашел, что и для жидкостей, которые не смачи-

газов, объяснение первого явления получило у него более кинетическую окраску. Мейер особо подчеркивает, что при внутреннем трении происходит передача движения от движущегося слоя к соседнему неподвижному; Гагенбах же обращается более непосредственно к причине таких передач, т. е. к вязкости. По вопросу о внутреннем трении жидкостей при протекании по узким трубкам в 1861 г. появилась еще статья Якобсона под заглавием »Zur Einleitung in die Hämodynamik" в „Archiv für Anatomie", стр. 304, 1861.

¹ „Sitzungsber. d. Wiener Akad., mathem. naturw. Klasse", XL, стр. 607; *Helmholtz*, Wissenschaftl. Abhandlungen, I, стр. 172.

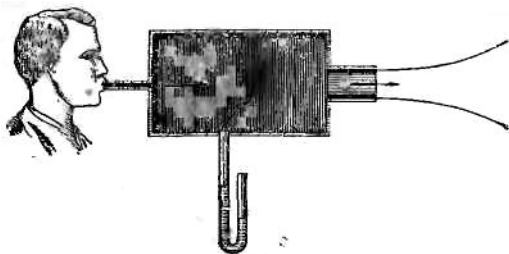
² По Мейеру („Kinet. Theorie der Gase", стр. 147) *коэффициент скольжения* равен отношению коэффициентов внутреннего и внешнего трения.

³ „Pogg. Ann.", CXL, стр. 367, 1867: „Über den Ausfluss des Quecksilbers aus gläsernen Capillarröhren". С другой стороны, Кундт и Варбург доказали для

284 ФОРМА СТРУЙ В ТЕКУЩИХ ЖИДКОСТЯХ

вают стенок сосудов, например для ртути в стеклянных капиллярных трубках, количество вытекающей жидкости может быть представлено формулой:

$Q = \frac{\pi (p_0 - p_1)}{8k^2 L} R^4$, что, следовательно, и здесь можно допустить прилипание жидкости к стенкам сосуда. Однако Унвин в 1880 г.¹ из своих опытов над вращающимися в воде металлическими дисками с поверхностями различной шероховатости нашел, что сопротивления в высокой степени зависят от свойства поверхностей, и вообще пришел к выводам, которые очень мало согласовались с полученными раньше. Отчасти это могло происходить вследствие того, что он производил свои опыты с гораздо большими скоростями, чем его предшественники, и что явления усложнялись у него такими побочными эффектами, как внутренние толчки, которые вызывали потери силы. Трение, в особенности внутреннее, должно влиять на все явления движения жидкостей; поэтому точное изучение этого влияния во всех отдельных случаях представляется особенно важным для гидродинамики. Но так как исследование влияния внутреннего трения предполагает наличие данных о различии скоростей и их распределении внутри жидкостей, а эти движения сами по себе мало исследованы и, во всяком случае, едва известны, то изыскания подобного рода будут всегда особенно трудными и кропотливыми, и действительно, исследование этих процессов до сих пор дало еще мало результатов. Правда, П. Дюбуа-Реймон уже в 1854 г.² усердно занимался изучением *формы струй* в текущих жидкостях, пользуясь при этом вязкостью для объяснения явлений. А именно, он сделал допущение, что частицы жидкости под действием собственных ей сил удерживаются на известном расстоянии друг от друга, так что сама жидкость по своей природе оказывает сопротивление движению в ней частицы по всем направлениям, и что это сопротивление зависит от положения частицы по отношению к стенке сосуда, по отношению к поверхности жидкости и от различной вязкости жидкости по различным направлениям. Из этих предпосылок следовало, что *поток в жидкости всегда отклоняется в сторону наибольшего сопротивления разрыву*, а отсюда



Черт. 9.

газов, что коэффициент скольжения по твердой стенке у них должен иметь величину, несколько отличную от нуля („Pogg. Ann.", CLV, стр. 337 и 525; CLIX, стр. 399). — E. Warburg (родился в 1846 г.) — профессор физики в Фрейбурге.

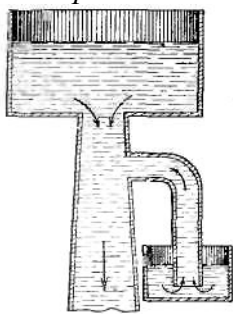
¹ „Proc. of the Roy. Soc.", XXXI, стр. 54, 1880. — W. C. Unwin — профессор гидравлики в Индийской королевской инженерной школе.

² „Unters. über. d. Flüssigkeiten, über deren innere Strömungserscheinungen" и т. д., Berlin 1854.

ВСАСЫВАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ЖИДКИХ ПОТОКОВ 285

для потоков призматического поперечного сечения он получил следующие законы: при своем движении потоки расширяются всегда таким образом, что площадь их поперечного сечения увеличивается; скорость течения от оси призмы по направлению к поверхности уменьшается; два потока, сходящиеся под каким-нибудь углом друг с другом или же расходящиеся, всегда обращаются друг к другу своей выпуклой стороной; а потоки, из которых один движется по направлению к вершине угла, а другой от нее удаляется, обращаются друг к другу вогнутой стороной; стоячая вода ведет себя как вода, движущаяся в противоположном направлении, откуда следует, что во всех тех случаях, когда русло испытывает внезапное расширение или когда поток вступает в стоячую воду, должен образоваться водоворот или вихрь.

Однако более общий интерес в новейшее время возбудили только действия водяных и воздушных струй на окружающие их неподвижные воздушные и водяные слои, а также основанные на этих явлениях насосы. После Генри Джемса ¹ сначала Гауксби ², а потом Лесли на опыте доказали, что давление на дно сосуда, наполненного одним воздухом, уменьшается, если через него продуть горизонтальную струю воздуха, выходящего через более широкое отверстие, чем, то, в которое он входит в сосуд. Аналогично этому Бернулли ³ и Вентури показали, что поток воды, идущий через конически расширяющуюся трубку, производит на воду в проведенной сбоку трубке всасывающее действие. Последний из них в 1797 г. ⁴ особо исследовал боковую передачу движений потоками в жидкостях. Он также заметил, что струя воды, ударяющаяся о неподвижную водную поверхность, приносит с собою в воду много воздуха, и объяснил это прилипание воздуха к водяной струе. Эти явления позднее многократно исследовались; впервые в более связном виде они были исследованы в 1850 г. Магнусом. Последний ⁵ установил, что по сторонам потока, проходящего через жидкость, *давление всегда меньше того, которое было бы, если бы движение потока прекратилось. Захватывание воздуха* водяной струей Магнус приписывал в большей степени *механическому увлечению* его, вызываемому прерывным характером водяных струй, чем *непосредственному прилипанию* к ним воздуха. По существу так же, а именно



Черт. 10.

¹ „Edinb. Phil. Trans.", XX, стр. 379, 1853 (доложено 15 марта 1852 г.). Джемс поясняет свое положение двумя рисунками, приведенными на этой странице.

² „An experiment to show the cause of the descent of the mercury in the barometer in a storm", „Phil. Trans." 1704.

³ D. Bernoulli, Hydrodynamica, стр. 276, Strassburg 1738. Второй из приведенных на этой странице чертежей соответствует черт. 81 табл. XII „Hydrodynamica".

⁴ „Mém. s. la communication latérale du mouvement dans les fluides, appliqué à l'explication des différentes phénomènes hydrauliques", „Bull. de la Soc. philomath.", 1797.

⁵ „Pogg. Ann.", LXXX, стр. 1, 1850; XCV, стр. 1, 1856; CVI, стр. 1, 1859.

286 ТРИ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

неправильной формой струи, объяснил это явление и Тиндаль ¹, хотя по некоторым частным вопросам он и был не согласен с Магнусом. Для пояснения данного явления он, между прочим, указал на тот факт, что потоки дробы или нити с узлами, пропущенные через жидкость, увлекают с собою части жидкости, через которую они проходят. Поэтому вплоть до новейшего времени все эти процессы описывались, как явления так называемого *динамического давления*; однако причину понижения давления вокруг движущегося тела пока не искали и несомненную связь этих явлений с явлениями внутреннего и внешнего трения жидкостей ближе не исследовали. Зато тем усерднее пытались практически использовать эти силы. В 1859 г. Жиффар построил на принципе динамического давления свой инжектор или паровой насос. Около этого же времени Шимпер изготовил свой *насос*, действующий путем вдувания, который позднее вошел во всеобщее употребление под различными названиями (пульверизатора, охладителя и т. д.). В 1865 г. Шпренгель описал воздушный *всасывающий насос* (ртутный насос), а в 1869 г. за ним последовал Бунзен с устроенным по тому же принципу *водяным воздушным насосом*, который вскоре стал изготовляться в различных вариациях.

Трение жидкостей имеет только то общее с трением твердых тел, что оба они представляют некоторое сопротивление, препятствующее движению соприкасающихся веществ. В остальном законы трения жидкостей, а именно — независимость трения от давления, пропорциональность его скорости и т. д., скорее совпадали с законами трения газов, чем твердых тел. После того как кинетическая теория газов добилась всеобщего признания, было естественно стремиться и к более кинетической разработке вопроса о трении жидкостей. Наблюдения взаимного трения между твердыми, жидкими и газообразными телами в еще большей степени побуждали к тому, чтобы при механическом объяснении их отказаться от принятого раньше строгого обособления этих трех форм материи и установить между ними живую связь. Вообще к такому взгляду на агрегатные состояния материи приводили все упомянутые выше работы по молекулярной физике. Из них все больше и больше выяснялось, что эти состояния не представляют собою чего-либо абсолютно различного, а только известные модификации, отличающиеся лишь по степени. *Раньше твердое, жидкое и газообразное состояния рассматривались как некоторые первичные формы материи, отделенные друг от друга непроходимыми пропастями, и натурфилософы, как, например, Кант, в своих «Метафизических основаниях науки о природе», всегда считали одной из главных своих задач философски разрешить заданную физикам загадку о возможности существования материи в трех видах. Теперь же оказалось, что этот троякий вид существования есть лишь троякая форма явлений, которые, будучи обусловлены больше взаимодействием веществ, чем их внутреннею природою, могут быть переведены одна в другую постепенно, без всяких разделяющих их границ.* Одновременно с этим воз-

¹ Pogg. Ann.", LXXXII, стр. 294, 1851.

ника новая задача установить для всех веществ возможность существования их во всех трех состояниях и точно исследовать условия их перехода из одного состояния в другое. Благодаря такой постановке вопроса выяснилось, что *тепловые* молекулярные движения, которые преимущественно обуславливают агрегатное состояние тел, имеют основное значение не только для узкой области учения о теплоте, но также и для наших воззрений на строение тел, и что точка зрения на теплоту, как на некоторый род движения, со своей стороны тоже непосредственно приводит к кинетическому представлению о материи.

МЕХАНИКА ТЕПЛОВЫХ ДВИЖЕНИЙ (приблизительно от 1860 до 1880 г.). Каньяр-Латур ¹ сделал в 1822 г. интересное наблюдение, что эфир, алкоголь и вода в герметически закрытых трубках при сильном нагревании, по-видимому, полностью превращаются в пар, несмотря на то, что эти жидкости могли при этом увеличить свой объем только вдвое и самое большее вчетверо, по сравнению с первоначальным объемом. Вследствие сильного разъедания стенок стеклянных трубок горячими жидкостями и большой опасности взрыва Каньяр-Латур не мог довести до конца своих опытов, которые долгое время считались неточными. Впервые важное значение этих опытов показал Т. Эндрюс, который в шестидесятых годах обратил эту проблему и поставил перед собою вопрос, каким образом газ, сведенный до самого незначительного объема, может все-таки сохранить свое газообразное состояние. При этом он пришел ² к выводам, которые соответствовали упомянутым выше опытам Каньяр-Латура, но при этом оказались более плодотворными и поучительными. «При частичном сжижении углекислоты, — так описывает он свои тогдашние опыты, — при помощи одного давления и при одновременном постепенном повышении температуры до 88° F, поверхность раздела между жидкостью и газом становилась все слабее, теряла свою кривизну и, наконец, совсем исчезла. В это время все пространство было занято однородною жидкостью, в которой при внезапном уменьшении давления, или при некотором понижении температуры, появлялись свое-

¹ „Ann. de chim. et de phys." (2), XXI, стр. 127 и 178; XXII, стр. 140, 1822 и 1823.

² Эти опыты были впервые опубликованы на основании письма Эндрюса в третьем издании Miller's „Chemical Physics". Эндрюс начал свои опыты уже в 1861 г. и тогда же установил, что кислород, водород, азот, углекислота и окись азота, будучи доведены общим действием давления и охлаждения до $\frac{1}{500}$ своего первоначального объема, не переходят в жидкое состояние („Report of the Brit. Assoc.", 1861; „Transact. of the Sect.", стр. 76). Некоторые физики еще до Эндрюса вновь обратились к опытам Каньяр-Латура. Фарадей в упомянутой уже выше статье 1845 г. „On the liquefaction and solidification" говорит: „Я склонен думать, что около 90° (F) углекислота приходит в каньяр-латуровское состояние". Вольф и Дрион в конце пятидесятих годов попытались определить для некоторых жидкостей температуры, при которых они могли бы перейти в состояние Каньяр-Латура (Ladenburg, „Gesch. d. Chemie", стр. 341). Д. Менделеев же в 1861 г. охарактеризовал это состояние, как состояние, при котором сцепление и теплота испарения становятся равными нулю, и дал соответствующей температуре особое название *абсолютной температуры кипения* („Ann. d. Chem. und Pharm.", CXIX, стр. 1).

288 НЕПРЕРЫВНОСТЬ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

образного вида полосы, движущиеся и струящиеся по всей массе вещества. При температурах выше 88° нельзя было достигнуть видимого сжижения углекислоты, в жидкость, или разделения ее на два агрегатно различных состояния, даже когда давление достигало от 300 до 400 *at*. Азотистая кислота дала аналогичные результаты»¹.

Шесть лет спустя, в 1869 г.², Эндрюс представил более точные наблюдения и дальнейшие объяснения этого своеобразного свойства газа. Взятые для исследования газы он помещал в очень крепкие запаянные сверху стеклянные капиллярные трубки и определенный объем газа запирали каплей ртути³. Эти трубки затем помещались открытым концом в наполненный доверху водой и герметически закрытый сосуд, в котором можно было повышать давление до 400 *at* путем ввинчивания длинного точно пригнанного стального винта. Капиллярные трубки с подлежащим сгущению газом поддерживались при постоянной температуре при помощи струи воды, а объемы газов, соответствовавшие этим температурам и постепенно возрастающему давлению, точно измерялись. Температуры отдельных рядов опытов лежали в пределах от $13,1$ и $48^{\circ},1$ C; полученные при этом результаты он для лучшего обозрения сопоставил в таблицах и иллюстрировал кривыми, абсциссы которых были пропорциональны давлениям, а ординаты — соответствующим объемам. Рассмотрение этих таблиц или кривых⁴ показывает, что при низком давлении даже поддающийся сгущению газ, как углекислота, следует, подобно идеальному газу, закону Мариотта; но что, начиная с известного давления, газ может очень значительно уменьшаться в объеме без соответствующего заметного увеличения давления. Наступление такого явления указывает, что в этом состоянии газообразная углекислота уже сгущается и существует частью как газ, частью как жидкость. С окончанием сгущения давление начинает необычайно сильно возрастать даже при небольшом изменении объема. Если, далее, сравнить между собою несколько кривых одного и того же газа для различных температур, можно легко убедиться, что то состояние, при котором жидкость и газ существуют совместно, т. е. при котором кривая почти параллельна оси ординат, — с повышением температуры наступает при более высоком давлении и прекращается при большем объеме, чем прежде, т. е. что это состояние теперь продолжается меньше времени, чем прежде. Начиная с некоторой определенной температуры, особой для каждого газа, например для углекислоты начиная с $31^{\circ},1$, такое

¹ „Pogg. Ann.", доп. том. V, стр. 65.

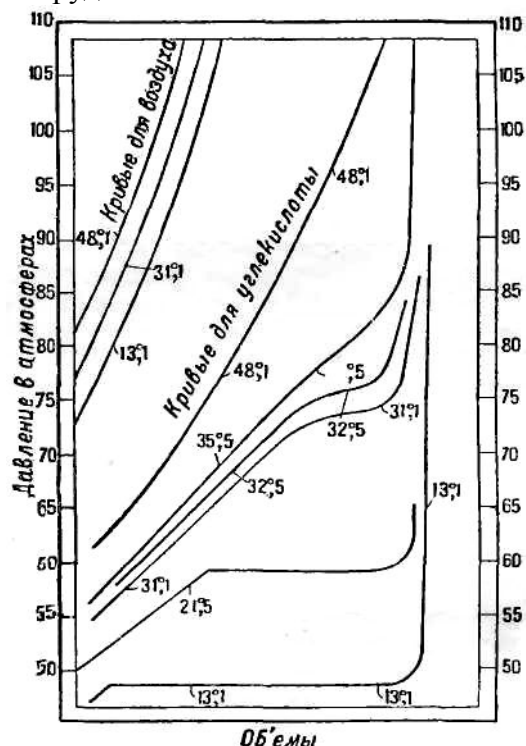
² „Phil. Trans.", стр. 575, 1869; „Pogg. Ann.", доп. том. V, стр. 64, 1871 (имеется русский перевод этой работы, а также работы от 1876 г.: Т. Эндрюс, О непрерывности газообразного и жидкого состояний вещества, ГТТИ, 1933—Ред.).

³ Для того чтобы наполнить капиллярные трубки чистой углекислотой и по возможности удалить оттуда атмосферный воздух, Эндрюс до запаивания трубок пропускал через них углекислый газ в продолжение 24 час; несмотря на это, в трубке всегда оставалось некоторое не поддававшееся устранению количество воздуха, составлявшее от $1/500$ до $1/1000$ всего объема углекислоты („Pogg. Ann.", доп. том V, стр. 66).

⁴ Приведенный на стр. 289 чертеж представляет собою копию чертежа Эндрюса, помещенного в „Pogg. Ann.", доп. том V (табл. II, черт. 9).

НЕПРЕРЫВНОСТЬ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА 289

состояние совершенно исчезает. Повышение давления продолжается тогда непрерывно с уменьшением объема, газ от начала до конца следует приблизительно закону Мариотта и в капиллярной трубке незаметно и следов жидкости ¹. «Каково же состояние углекислоты, — спрашивает Эндрюс, — когда она при температурах выше $31^{\circ},1$ переходит из газообразного состояния в объем жидкости, не проявляя во время этого процесса никакого признака наступившего сжижения? Остается ли она в газообразном состоянии или же она становится жидкой?.. Согласно правильному, по моему мнению, толкованию описанных опытов ответ на этот вопрос дается внутренними соотношениями, существующими между газообразным и жидким агрегатными состояниями. Обычное жидкое и обычное газообразное состояния являются, выражаясь кратко, только далеко отстоящими друг от друга видами одного и того же агрегатного состояния; они могут быть переведены одно в другое путем ряда столь постепенных переходов, что при этом нигде не наблюдается разрыва или нарушения непрерывности... При известных условиях температуры и давления углекислота находится в состоянии некоторого неустойчивого равновесия и внезапно, с развитием тепла, но без дополнительного изменения давления или температуры, переходит в объем, который при непрерывном процессе она может занять только в результате длинного окольного пути. При наступающем здесь внезапном изменении выявляется заметное различие в оптических и прочих физических свойствах углекислоты, сжатой до меньшего объема, и той, которая его (т. е. объема) еще не изменила; поэтому совсем нетрудно отличить



Черт. 11.

¹ Следовательно, вообще при низких температурах кривые давления являются не непрерывными и состоят из трех, прерывно переходящих друг в друга участков; при более высоких температурах они все больше приближаются к непрерывности и постепенно переходят в равностороннюю гиперболу, предоставляемую уравнением $pv=C$.

290 СЖИЖЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ГАЗОВ

жидкость от газа. Однако в других случаях такое различие невозможно... При $35^{\circ},5$ и 108 ат давления углекислота занимает среднее положение между газом и жидкостью, и у нас нет никаких веских оснований для того, чтобы приписать ей одно агрегатное состояние предпочтительно перед другим...

Описанные в настоящем сообщении свойства углекислоты принадлежат не только ей одной, они присущи всем вообще телам, которые могут быть получены в виде газа и жидкости. Окись азота, аммиак, серный эфир и сероуглерод, все они при известных давлениях и температурах дают *критические точки* и быстрые изменения объема со струистыми движениями, когда температура и давление изменяются вблизи этих точек...

Различие между газом и паром было до сих пор основано на совершенно произвольных принципах... Это различие обуславливалось тем несущественным обстоятельством, что точка кипения жидкости под обычным атмосферным давлением лежит выше или ниже обычной температуры окружающего воздуха... Мы можем теперь оказать: *пар есть газ при любой температуре ниже его критической точки*. Согласно этому определению пар может быть превращен в жидкость одним лишь давлением и может, следовательно, существовать в присутствии собственной жидкости, тогда как газ не может быть сжижен одним давлением, т. е. не может быть изменен давлением таким образом, чтобы жидкость можно было наблюдать отделенной от газа видимой поверхностью. Согласно этому определению углекислота ниже 31° будет паром, а выше 31° — газом». Эндрюс заканчивает свою статью следующими словами: «Остается разрешить еще гораздо более трудную проблему о возможной *непрерывности жидкого и твердого агрегатных состояний*; прекрасное открытие, сделанное несколько лет тому назад Джэмсом Томсоном о влиянии давления на температуру, при которой происходит плавление (отвердевание), подтвержденное экспериментально Уильямом Томсоном, указывает, мне кажется, то направление, в котором должно быть предпринято это исследование»¹.

В позднейшем продолжении² своих работ Эндрюс занялся преимущественной проверкой закона Дальтона. Подвергнув сильному сжатию смесь углекислоты и азота, он нашел, что мысль Дальтона, будто частицы различных газов друг с другом не взаимодействуют, неверна и что, например, критическая точка углекислоты, в случае прибавления к последней хотя бы только одной десятой доли объема воздуха или азота, понижается на несколько градусов. Таким образом закон Дальтона, равно как и законы Бойля-Мариотта и Дальтона-Гэ-Люссака, действителен только для несмешанных газов, когда последние находятся под слабым давлением и при температуре значительно выше критической точки. Что касается газов, которые до сих пор назывались постоянными, то о них Эндрюс в заключение утверждает, что критическая точка последних «вероятно, лежит гораздо ниже самых низких из полученных до сих пор температур» и что только поэтому их до сих пор не удалось превратить в жидкое состояние.

¹ „Pogg. Ann.", доп. том., V, стр. 82—87.

² „Proc. of the Royal Society", XXIII, стр. 514 и XXIV, стр. 455, 1871 и 1872.

СЖИЖЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ГАЗОВ 291

Следуя этому указанию, два физика, Калльете и Пикте, в конце 1877 г. одновременно добились сжижения постоянных газов. Калльете уже в 1870 г. ¹ подвергал атмосферный воздух и водород давлению до 700 *at* и во всех случаях констатировал уменьшение отношения vp/v_1p_1 (соответствующего объемам и давлениям в начале и конце опытов). Для воздуха, при увеличении давления от 60 до 705 *at*, это отношение уменьшалось от 1,0131 до 0,6660; а для водорода, с повышением давления от 60 до 605 *at*, оно снижалось — от 0,9810 до 0,7580. В первой половине 1877 г. Калльете занялся устройством манометра для очень высокого давления, а также сжижением ацетилена и азотноватого ангидрида. 16 декабря 1877 г. в химической лаборатории *École normale supérieure*, в присутствии значительного числа ученых, он показал, что хотя кислород и окись углерода оставались еще газообразными при температуре — 29° и давлении в 300 *at*, однако при быстром расширении газа в приборе вследствие понижения температуры (до — 200°) появлялся туман, который можно было объяснить только переходом газа в твердое или жидкое состояние. Несколько позднее, 31 декабря того же года, Калльете удалось воспроизвести то же явление на азоте и водороде ². Пикте первому удалось получить из постоянных газов некоторые устойчивые количества жидкости ³. Он охлаждал компрессор своего прибора путем испарения углекислоты до — 140°. С помощью паровой машины в 15 л. с. он подвергал кислород давлению в 320 *at*. Тогда при открытии крана прибора для сгущения газа кислород из него вырывался с такою стремительностью, что часть его, охлаждаясь вследствие испарения, обращалась в жидкость и при наклонении прибора выбрасывалась сильной струей. При одном опыте, произведенном 22 декабря 1877 г., было таким путем получено несколько кубических сантиметров жидкого кислорода. Подобным же образом Пикте получил и водород в жидком состоянии. В более значительных количествах так называемые постоянные газы были впервые сгущены в 1882 г. С. Вроблевским и К. Ольшевским ⁴. При кипении чистого кислорода Вроблевский получил температуру — 184°, при кипении воздуха — 192,2°, азота — 193,1°, окиси углерода — 193°; путем испарения тех же газов в пустоте он достиг тем-

¹ „Comptes rendus", LXX, стр. 1131, 1870. На основании этих опытов ван-дер-Ваальс еще до 1873 г. вычислил критическую температуру кислорода в — 158°, — значительно выше действительной. („Über den Übergangszustand zwischen Gas und Flüssigkeit", Leyden 1873, по „Beiblätter zu Pogg. Ann.", I, стр. 18).

² „De la condensation de l'oxygene et de l'oxyde de carbone", „Comptes rendus", LXXXV, стр. 1213. „Sur la condensation des gaz réputés incoércibles", там же, стр. 1270. См. также „Ann. de chim. et de phys." (5), XV, стр. 132, 1878.

³ „Expériences sur la liquefaction de l'oxygene", „Comptes rendus", LXXXV, стр. 1214 и 1276. „Mémoire sur la liquéfaction de l'oxygène, la liquéfaction et la solidification de l'hydrogène et sur les théories de changement de l'état des corps", „Archives des sciences physiques et naturelles", LXI, стр. 16, 1878. Raoul Pictet — физик в Женеве.

⁴ „Sur la liquéfaction de l'oxygène et de l'azote", „Comptes rendus", XCVI, стр. 1140 и 1225, 1883; также „Wied. Ann.", XX, стр. 243, 1883. „Sur la liquéfaction de l'hydrogène", „Comptes rendus", XCVIII, стр. 304 и 365, 1884.

292 ТЕОРИИ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

ператур на несколько градусов ниже -200°C ¹. Аналогичные, лишь мало отличающиеся результаты получил и Ольшевский ²; поэтому оба эти ученые рекомендовали кислород в качестве действительного средства для охлаждения. Наиболее пригодными для определения столь низких температур оказались водородные термометры, критическая точка которых лежит, по-видимому, ниже всего; Ольшевский нашел, что даже при температуре в -220°C ошибка таких термометров не может превысить 1°C ³. Этот же ученый успешно занялся определением физических констант новых жидкостей. Плотность жидкого кислорода, критическая точка которого лежит при $-118^{\circ},8$ оказалась равной 1,124 (при $-181^{\circ},4$), а плотность жидкого азота (критическая температура -146°) — равной 0,885 (при $-194^{\circ},4$) ⁴.

Эндрюс назвал критической точкой газа ту температуру, при которой жидкость уже не может больше существовать совместно с собственным паром. Другие физики попытались найти физические обоснования для этого явления. Ганней ⁵ высказал мысль, что единственно надежным *отличительным признаком жидкости от газа является перевес силы сцепления над живою силою молекул* или наличие у жидкости поверхностного натяжения. Следовательно, критическая точка жидкости — это та температура, при которой исчезает сцепление, или поверхностное натяжение, или капиллярность. Тот факт, что критическая точка зависит не от давления, а только от температуры, показывает, что газообразное состояние материи зависит от *средней скорости молекул*, а не от длины свободного их пути, и что определенная живая сила молекул способна независимо от давления помешать всякому устойчивому, твердому группообразованию. В соответствии с этим Ганней различает четыре различных агрегатных состояния: 1) *газообразное*, простирающееся от наивысшей температуры до некоторой изотермы, проходящей через критическую точку, при котором значительная живая сила молекул препятствует действию сцепления; 2) *парообразное* и 3) *жидкое*; оба они простираются от упомянутой выше изотермы до некоторой определенной температуры, или же до абсолютного нуля; между собою они различаются отношением длины молекулярного пути к сцеплению, и, наконец, 4) *твердое* состояние".

¹ „Sur la temperature qu'on obtient á l'aide de l'oxygène bouillant", „Comptes rendus", XCVII, стр. 1563 и XCVIII, стр. 982. С. Вроблевский — профессор физики в Кракове, умерший там же 17 апреля 1888 г. на 40-м году жизни.

² „Temperature de solidification de l'azote et du protoxyde de carbone, relation entre la temperature et la pression de l'oxygène liquide", „Comptes rendus", C, стр. 350, 1885 г. Уменьшая давление над затвердевшим азотом до 4 мм, Ольшевский достиг наиболее низкой температуры в -225°C .

³ „Vergleich von Gasthermometern bei niederen Temperaturen", „Sitzungsber. der math.-naturw. Cl. d. Krakauer Akad. d. Wiss.", XIV, стр. 283, 1886; „Beiblätter zu Pogg. Ann.", X, стр. 679.

⁴ „Wied. Ann.". XXXI, стр. 58, 1887.

⁵ „On the state of fluids at their critical temperatures", „Proc. of the Roy. Soc.", XXX, стр. 478, 1880; „On the limit of the liquid state", там же, XXX, стр. 520, 1881 и там же XXXIII, стр. 294, 1882.

⁶ Ганней сначала склонялся к тому, чтобы признать способность жидкостей растворять твердые тела их существенным отличием от газов, однако вместе с Гогартом открыл, что и газы также способны растворять твердые тела („Proc.

Ван-дер-Ваальс¹, успешно занявшийся в ряде статей математической теорией газов, дал объяснение критической температуры, мало отличающееся от предыдущего. Предполагая существование в молекулах, при определенной их величине, одних только притягательных сил и объясняя отталкивание движением молекул, он пришел к уравнениям состояния для упругих и капельножидких веществ, из которых вытекало существование еще промежуточного состояния с неустойчивым равновесием. *Критической температурой является та температура, выше которой подобное состояние неустойчивого равновесия становится уже более невозможным.*

С совершенно иной точки зрения, значительно ослаблявшей исключительное значение критической точки, объяснил открытие Эндрюса Жамен². Если нагревать жидкость в совершенно замкнутом пространстве, то количество лежащего над жидкостью пара быстро увеличивается и его плотность возрастает в таком же отношении, как и его вес. С другой стороны, часть вещества, оставшаяся в жидком состоянии, испытывает все возрастающее расширение, которое, наконец, превосходит расширение газа (Тилорье); следовательно, в конце концов, существует некоторая предельная температура, при которой жидкость и газ имеют одинаковый вес при одном и том же объеме. С этого момента они уже не остаются больше раздельными, и вся масса приходит в некоторое однородное состояние, которое считают газообразным. В этот момент вещество, по Жамену, достигает *критической точки*, которую, стало быть, можно определить как *температуру, при которой жидкость и ее насыщенный пар имеют одинаковую плотность*. В подтверждение своей теории Жамен приводит опыт Калльете, произведенный им в 1880 г. А именно, когда последний подверг в своем приборе сжатию смесь 1 части воздуха и 5 частей углекислоты, он заметил, что при некотором среднем давлении углекислота перешла в жидкое состояние. Когда же он, не изменяя температуры, увеличил давление до 150 или 200 *ат*, то увидел, что образовавшаяся жидкость вновь вся исчезла. Если правильно предположение Жамена, что исчезновение жидкой углекислоты происхо-

of the Roy. Soc.", XXIX, стр. 324, 1879; XXX, стр. 178 и 484. 1880). В самом деле, когда в жидкости было растворено твердое тело, температура плавления которого лежала гораздо выше критической точки жидкости, и когда затем температура постепенно повышалась, то тело оставалось в растворе, даже когда температура поднималась на 130° выше критической точки. Правда, алкоголь и эфир выделяли растворенное хлористое железо при температуре ниже критической точки, но последнее вновь растворялось в газе, когда температура повышалась на 8—10° выше критической точки. Этим явлением можно, пожалуй, объяснить противоречивые результаты, полученные Калльете и Готфейлем в 1880 г. с жидкой углекислотой, окрашенной синим галбановым маслом, когда окрашивающее вещество выделилось при достижении углекислотой критической точки („Comptes rendus", XCII, стр. 840, 1861). Высокое давление и высокая температура, т. е. большое сближение и значительная живая сила молекул, являются, согласно Ганнею, условиями растворимости твердого тела в газах.

¹ „Über den Übergangszustand zwischen Gas und Flüssigkeit", Leyden 1873; Реферат в „Beiblätter zu Pogg. Ann.", 1, стр. 10; „Die Continuität des gasförmigen und flüssigen Zustandes", немецкий перевод, Leipzig 1881.

² „Comptes rendus", XCVI, стр. 1448, 1883.

294 ИСПАРЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

дит исключительно вследствие выравнивания плотностей, то это исчезновение должно замедляться, если воздух в смеси заменить каким-либо менее плотным газом, например водородом. И действительно, когда Калльете ¹ по предложению Жамена однажды смешал 5 объемов углекислоты с одним объемом воздуха, а другой раз с одним объемом водорода, то для последней смеси всегда требовалось значительно большее давление, чтобы воспроизвести упомянутое выше явление. Впрочем, Рамсей, в письме в Парижскую академию наук, заявил притязание на свой приоритет по отношению к этой теории критической точки ² и справедливо сослался на опубликованную им еще за три года до того работу ³, где было сказано: «Критическая точка это та, при которой жидкость вследствие своего расширения, а газ вследствие своего сжатия достигают равного удельного веса и вследствие этого смешиваются. Так как при охлаждении жидкость сильнее сжимается, чем газ, то она во всей трубке выделяется из равномерной смеси в виде облака и затем, будучи более тяжелой, падает на дно». По этому поводу нельзя, однако, не отметить, что идея Рамсея-Жамена, несмотря на всю ее *кажущуюся простоту*, все-таки заключает в себе *значительные трудности*, так как она требует, чтобы одно и то же вещество, при одном и том же (внешнем) давлении и одной и той же температуре, мы представляли себе как жидким, так и газообразным, а также одновременно в обоих этих состояниях.

Как уже было упомянуто, Эндрюс в своей работе 1869 г. высказал надежду, что, подобно непрерывности перехода от газообразного состояния к жидкому, будет установлена и непрерывность перехода от жидкого состояния к твердому. При этом он указал на опыты Томсона по понижению точки плавления льда под влиянием давления. Интересно, что сначала была выявлена как будто большая близость *твердого состояния к газообразному*, чем к жидкому. Согласно Дальтону каждая жидкость кипит, когда упругость ее пара становится равной окружающему давлению; под меньшим давлением жидкость не может существовать как таковая. Следовательно, твердое тело, будучи доведено до столь высокой температуры, что упругость пара его жидкости превышает окружающее давление, должно прямо испариться без предварительного плавления. Но так как согласно дальтоновскому закону диффузии каждый газ распространяется независимо от присутствия другого газа, то можно думать, *что твердое тело испаряется уже и при обыкновенном атмосферном давлении, хотя упругость его пара еще значительно ниже атмосферного давления*. В соответствии с этим взглядом, который в новой теории теплоты находит для себя определенное подкрепление, Клаузиус, в известном своем сочинении 1857 г., в котором он развивает свою теорию испарения, говорит: «Аналогично жидким телам испарение можно наблюдать и у твердых тел; но отсюда, — ограничивает он далее свою мысль, — не следует,

¹ „Comptes rendus", XCII, стр. 901, 1881.

² „Philosophical Magazine" (5), XVI, стр. 118, 1883.

³ „Proc. of the Roy. Soc.", XXXI, стр. 194, 1880. — W. Ramsay — профессор химии университетского колледжа в Бристоле.

что испарение должно происходить с поверхности любого твердого тела»¹. Целльнер отбросил последнее ограничение и в своей работе «Über die Natur der Kometen» («О природе комет») ² исходит прямо из допущения, что *испарение не зависит от агрегатного состояния*, что каждое вещество испаряется при любой температуре, поскольку только давление *собственного* его пара не становится слишком большим, и что вообще все вещества различаются между собою только величиной упругости пара, которая при одних и тех же температурах у жидкостей, конечно, гораздо больше, чем у твердых тел. Затем Лотар Мейер ³ в 1875 г. экспериментально, по крайней мере, на одном примере показал, что переход твердого тела при его нагревании непосредственно в газ или же предварительно в жидкое состояние зависит только от давления. Эти процессы, однако, обратили на себя всеобщее внимание только тогда, когда Томас Карнелли ⁴ противопоставил эндрюсовскому положению о критической температуре, положение о критическом давлении, гласящее следующее: *для того чтобы твердое тело обратилось в капельную жидкость, давление должно быть выше некоторой точки, которую можно назвать критическим давлением; при давлениях ниже этой точки никакая степень тепла, как бы она ни была велика, не в состоянии расплавить вещество*. Для сулемы Карнелли осенью 1879 г. определил это критическое давление в 420 мм. В августе 1880 г. ему удалось определить эту же величину для льда в 4,6 мм; при давлении, большем 4,6 мм, лед при нагревании плавится; при меньшем давлении он испаряется. При этом Карнелли сделал еще поразительное замечание, что если давление поддерживать достаточно низким, а нагревание производить достаточно быстро, то температуру льда можно поднять гораздо выше точки кипения воды и даже довести ее до 180°. Данные Карнелли были впервые проверены Вюльнером ⁵, который полностью подтвердил их в той части, которая относилась к испарению льда, но не заметил при своих опытах нагревания льда выше нуля градусов. То же самое имело место и у Лотара Мейера ⁶, и, хотя Карнелли доказал факт нагревания льда не только *термометрически*, но и *калориметрически*, тем не менее многочисленные работы других физиков до настоящего времени не дали этих результатов. Карнелли сделал оговорку в своих сообщениях, указав, что нагревание не должно производиться на слишком большой поверхности льда, в противном случае слишком большое количество пара дало бы и слишком большую упругость; с другой стороны, необхо-

¹ „Pogg. Ann.", C, стр. 240.

² Leipzig 1872, стр. 86.

³ „Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft, стр. 1627, 1875. — Lothar Meyer (родился в 1830 г.) — профессор химии в Тюбингене.

⁴ „The conditions necessary for the existence of matter in the liquid state. Existence of ice at high temperatures", „Nature", XXII, стр. 434, 1880. „Experiments on ice under low pressures", „Nature", XXIII, стр. 341, 1881. Эндрюс говорил о *критическом давлении* в несколько ином смысле, чем это слово применяется здесь; у него этот термин обозначал давление, необходимое для сгущения газа, находящегося при температуре немногим ниже его критической температуры.

⁵ „Wied. Ann.", XIII, стр. 105, 1881.

⁶ „Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft", стр. 718, 1881.

димо, чтобы нагревание происходило достаточно быстро, так как в противном случае вся теплота пойдет на испарение льда и ничего не пойдет на повышение его температуры. Поэтому все же возможно, что отрицательные результаты других физиков, повторявших опыты Карнелли в более или менее измененной форме, получились не в силу невозможности указанного Карнелли нагревания льда, а вследствие нецелесообразной постановки их опытов ¹.

Многообразные переходы, которые в действительности существуют между твердым и жидким состояниями, *мягкие* и *полужидкие* формы, которые встречаются у *химически простых* или, по крайней мере, *однородных* веществ, как фосфор, натрий, свинец и т. д., и которые, во всяком случае, нельзя объяснить растворением твердого вещества в жидком, впервые в 1867 г. исследовал Пфаундлер ² и не без успеха попытался объяснить на основе новой теории теплоты. Согласно Пфаундлеру, следует считать, что у таких всегда *аморфных* тел положения отдельных молекул, направления их колебаний, взаимные расстояния и т. д. очень беспорядочны и различны. Когда такому веществу сообщается теплота, то средняя температура всех его молекул повышается и, наконец, наступает момент, когда вновь притекающая теплота дает возможность молекулам, обладающим в это мгновение максимумом живой силы, оставить свое прочное положение равновесия и в качестве свободных жидких молекул получить поступательное движение. Если в это время прекратить дальнейший приток теплоты, то среди множества твердых молекул будет существовать некоторое количество жидких. Однако в поступательном движении не находятся все время одни и те же молекулы. Благодаря взаимным столкновениям они имеют возможность передать свой излишек другим молекулам; постоянным остается лишь среднее число жидких молекул. Дальнейший приток тепла повышает число жидких молекул и уменьшает число твердых. Если приток тепла происходит быстро, то все подпавшие под его действие молекулы становятся жидкими. Если же всей системе предоставляется некоторое время для выравнивания, то жидкие молекулы постепенно распределяются равномерно по всей системе, — конечно, если теплоты было недостаточно для того, чтобы расплавить все молекулы. При продолжающемся притоке теплоты жидких молекул становится все больше, группы твердо сплоченных частиц становятся все реже, и, наконец, последние совер-

¹ В пользу *большой устойчивости твердого агрегатного состояния* по сравнению с жидким даже у тех веществ, которые при обычных условиях находятся в газообразном состоянии, говорит следующее интересное явление, наблюдаемое Ландольтом. Н. Landolt (родился в 1831 г.; член Берлинской академии наук) выпускал жидкую углекислоту в конический полотняный мешок, а затем образовавшийся там рыхлый снег он в толстостенной деревянной форме сбивал молотком в плотный цилиндр, который при этом приобретал примерно твердость мела и мог быть без вреда взят в руки. Такие цилиндры сохранялись довольно долго, так как газообразование у них происходило только на поверхности и притом тем медленнее, чем сильнее была сжата эта масса („Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft", XVII, стр. 309, 1884).

² „Sitzungsber. d. Wien. Akad", 2 отдел, XXIII, стр. 249. — L. Pfaundler (родился в 1839 г.) — профессор физики в Инсбруке.

ВОЗЗРЕНИЯ ПФАУНДЛЕРА, ЧИНТОЛЕЗИ И КАНТОНИ 297

шенно исчезают. Тела, плавление которых протекает указанным образом, называются в начале процесса *мягкими*, а потом полужидкими; следовательно, *тела в мягком состоянии — это смеси твердых групп молекул с жидкими, или с поступательно движущимися молекулами, которые непрерывно обмениваются своими местами с твердыми частицами*. Согласно такому определению можно объяснить много свойств *мягких* тел. Если мягкое тело быстро согнуть, то оно ломается, при медленном же сгибании оно сохраняет новое положение. В самом деле, при сгибании твердые молекулы тела приходят в напряженное неустойчивое положение, а жидкие сохраняют свою подвижность. При постепенной замене твердых молекул жидкими и обратно твердые молекулы располагаются устойчивым образом, и потому напряжение должно постепенно исчезнуть. В результате сгиб остается постоянным. Ясно, что этим путем изменение формы может быть постепенно проведено сколь угодно далеко, если только молекулам предоставляется достаточно времени для того, чтобы напряженные положения заменить свободными. Но для этого необходимо посредничество свободных поступательно движущихся молекул. Когда сгибание производится очень быстро, то перемещение твердых молекул в свободные положения не может происходить с такою же быстротою, тело ломается или же после прекращения давления упруго выпрямляется. Точно так же и свойство *мягких* тел соединяться в одно целое, когда их прижимают друг к другу, объясняется на основании тех же принципов. Находящиеся в этот момент на поверхности обоих тел жидкие молекулы образуют при замене их твердыми прочные связи. Так как невероятно, чтобы впоследствии все находящиеся на пограничных поверхностях твердые частицы одновременно вновь стали жидкими, то однажды установленная связь сохраняется, и тем в большей мере, чем дольше длился контакт, так как тем больше времени молекулы имеют для замены их твердыми.

Аналогичные представления относительно жидкостей и газов были развиты Чинтолези и Кантони. Чинтолези ¹ путем многообразных — и иногда поразительных — микроскопических наблюдений пришел к выводу, что *расширение жидкостей в тонкие пленки* всегда сопровождается *выделением* в них *газообразных масс* и что подобное явление кипения происходит во всякой пленке. Распространение одной жидкости по какой-либо другой, равно как разрыв жидкой пленки, обуславливается, по его мнению, парами собственного вещества, молекулы которых, вследствие их всесторонних движений, разъединяют жидкие молекулы. Кантони ² на основании опытов Амага, согласно которым для многих жидкостей коэффициенты сжимаемости значительно возрастают с повышением температуры, пришел к выводу, что все жидкости представляют собою смеси жидких и газообразных молекул; что между жидкими молекулами, которые лишь в очень ограниченной

¹ „Reale Istituto Lombardo Rendiconti" (2), IX, стр. 187; „Revue der Fortschr. der Naturw.", стр. 336, 1878.

² „Il nuovo Cimento" (3), VI, стр. 277; „Revue d. Fortschr. d. Naturw.", стр. 23, 1881.

298 КИПЕНИЕ И ИСПАРЕНИЕ

степени расширяются от теплоты и сжимаются от механической силы, всегда находятся пары этой самой жидкости (*интермолекулярные пары*), упругость которых имеет максимальную величину для существующей температуры. *Гипотезы Пфаундлера, Чинтолези и Кантони опираются на принцип Максвелла*, согласно которому молекулярные движения даже в однородных веществах и при вполне однородной температуре никогда не происходят равномерно, но обладают всевозможными величинами, колеблющимися около некоторого среднего значения. Максвелл, правда, применил эту гипотезу только к газам: но в принципе, по-видимому, ничто не препятствует тому, чтобы распространить ее и на другие агрегатные состояния.

В известной связи с этими работами находятся также *исследования нар, процессом изменения агрегатного состояния*. Гэ-Люссак сделал наблюдение, что вода в металлических сосудах легче закипает, чем в хорошо вычищенных стеклянных сосудах¹; позднее более легкое образование паров стали объяснять, главным образом, *присутствием в жидкостях газов*². Эту точку зрения отстаивал Дюфур в ряде работ, начиная с 1861 г.³. Он составлял такую смесь льняного масла (удельный вес 0,93) с гвоздичным (удельный вес 1,05), что ее удельный вес был в точности равен удельному весу воды, и, нагрев ее до 120°, вводил в нее пипеткой большую каплю воды. Последняя распадалась на маленькие капельки, которые сохранялись, не испаряясь. Вода могла быть таким путем нагрета до 170°, хлороформ до 100° С. Только тогда, когда к этим капелькам прикасались металлическим или деревянным острием, они мгновенно обращались в пар. Острия теряли свое действие, когда, не вынося на воздух, их несколько раз подряд применяли для выпаривания капель. При других опытах Дюфур помещал подкисленную воду, освобожденную от воздуха при помощи кипения, в стеклянную реторту и откачивал воздух до тех пор, пока его давление не соответствовало точке кипения в 60°. Тогда он мог доводить нагревание воды до 75°, и кипение не наступало. Однако последнее начиналось тотчас же, как только он пропусканием электрического тока вызывал в жидкости появление пузырьков газа. Дюфур считал на основании своих опытов доказанным, что *кипение тождественно*

¹ „Ann. de chim. et de phys.", LXXXII, стр. 174, 1812. Ф. Марсэ нашел, что в стеклянных сосудах кипящая вода в среднем теплее своего пара на 1,06° С, а в металлических только на 0,15—0°,20 С („Comptes rendus", XIV, стр. 586, 1842; „Pogg. Ann.", LVI, стр. 170).

² Согласно Ф. Донни сцепление жидкостей представляет собою не слабую, а наоборот, довольно значительную силу, позволяющую переход в газ только с поверхности. (Опыт с прилипанием кружка несколько не свидетельствует о незначительности сцепления, так как кружок со своим слоем жидкости отрывается от остальной жидкости не сразу, а только постепенно.) Когда жидкость нагревается, то в более нагретых местах выделяются пузырьки газа, на внутренней поверхности которых жидкость продолжает испаряться; с достижением температуры кипения это внутреннее испарение переходит в кипение („Pogg. Ann.", LXVII, стр. 562, 1846). Грове прямо утверждал, что никто еще никогда не наблюдал кипения совершенно чистой воды, не содержащей воздуха („Pogg. Ann.", CXXIV, стр. 295, 1861).

³ „Comptes rendus", LII, стр. 986, 1861; LIII, стр. 846; „Pogg. Ann.", CXXIV, стр. 295, 1865.

с испарением и что первое может наступить только тогда, когда в жидкости находятся свободные поверхности, пузыри газа и т. п. или когда последние образуются от сотрясений и пр.¹. По отношению к переходу в твердое состояние жидкости тоже сохраняют известную устойчивость. Так, Дюфур охлаждал водяные капли в условиях равновесия опыта Плато до -20° , и затвердевание не наступало. Он пришел к выводу, что молекулярное равновесие не может зависеть только от сцепления и тепловых движений, — при переходе из одного агрегатного состояния в другое должны действовать еще и другие причины. «Процесс кипения, — говорит он в 1865 г.², — очевидно, охватывает два явления: во-первых, образование пара во всей массе жидкости, которое возможно не раньше, чем когда упругость этого пара станет равной окружающему давлению, и, во-вторых, своеобразное, неясное по своей природе молекулярное явление, превращение жидкого состояния в газообразное. Благодаря первому из этих явлений кипение зависит от давления, благодаря второму — от причин, которые способны нарушить молекулярное равновесие жидкости. Причины эти, вероятно, различной природы, и весьма возможно, что соприкосновение некоторых посторонних тел, особенно газов, принадлежит к числу таких влияний, нарушающих равновесие жидкости... Между замедлением кипения и *затвердевания* существуют несомненные аналогии... они, очевидно, представляют собою факты одного и того же порядка, зависящие от аналогичных причин... Когда сера остается еще жидкою при 30 или 40° , то не сцепление мешает ее отвердеванию и продолжает удерживать ее в положении неустойчивого равновесия, так как в момент отвердевания молекулы ее сближаются друг с другом и образуют гораздо более вязкое тело, чем в жидком состоянии». Специально вопросом о затвердевании жидкостей Дюфур занялся также в работе 1861 г.³ Здесь он пришел к выводу, что замерзание воды могут вызвать различные случайные обстоятельства, но что вполне надежно его можно вызвать только прикосновением кусочка льда. Но Франкенгейм⁴ годом ранее высказался еще определеннее: «Как это доказал уже Ловитц в прекрасной статье 1794 г. («Nov. comm. Petrop.», XI, стр. 271), существует, собственно говоря, только одно условие, которое совершенно препятствует существованию жидкости ниже ее точки замерзания, а именно, прикосновение к ней однородным кристаллом. При отсутствии такой поверхности соприкосновения, с каким бы телом жидкость ни соприкасалась и как бы ее ни приводить в движение, ее всегда можно охладить в большей или меньшей степени ниже ее точки замерзания без того, чтобы она затвердела. Но как только в *каком-либо* месте образуется кристалл, кристаллизация тотчас же

¹ G. Krebs (преподаватель гимназии во Франкфурте на Майне) в основном повторил и подтвердил опыты Дюфура; он указал, что вода, не содержащая воздуха и нагретая до 140 или 170° , порою не закипала, а только быстро испарялась с поверхности („Pogg. Ann.", CXXXVI, стр. 148, 1869).

² „Pogg. Ann.", CXXIV, стр. 315 — 316.

³ Там же, CXIV, стр. 530, 1861.

⁴ Там же, CXI, стр. 1, 1860.

300 ПАДЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СТРУЙ НА ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

распространяется от частицы к частице, пока в жидком состоянии не останется ни одной части, температура которой лежит ниже точки замерзания». Но в 1858 г. Муссон¹ указал на то обстоятельство, что затвердевание воды затрудняется всеми теми условиями, которые уменьшают подвижность ее частиц, и соответственно этому установил, что в капиллярных трубках вода замерзает позднее, чем в открытых сосудах.

Подобно связи между изменениями агрегатного состояния тел и тепловыми движениями столь же усердно и тщательно изучалась в этот период и связь между последними и *внутренней механической работой* тел. Вольпичелли в 1871 г.² с успехом работал над старой проблемой о температурных изменениях, которые вызываются *воздушными струями, падающими на твердые тела*. Для того чтобы исключить помехи, могущие произойти вследствие расширения сосудов, содержавших в себе термометрические жидкости, он направлял струю воздуха из приемника, в котором газ был сжат до 4 ат, на термоэлектрический столбик. При этом, к своему удивлению, он констатировал повышение температуры, когда столбик был поставлен очень близко к вытечному отверстию, и, напротив, понижение температуры при некотором среднем расстоянии. Аналогичные, но только менее ясные результаты он получил при употреблении воздушных мехов. Вольпичелли объяснял это явление *тремя* рода причинами, влияющими на тепловое состояние текущего газа, из которых в указанном случае могла получить перевес то одна, то другая. А именно, попадающая на твердую стенку первоначально сжатая струя воздуха совершает вследствие столкновения ее молекул с поверхностью твердого тела *внешнюю работу*; а вследствие проникновения молекул воздуха в глубь твердого тела и происходящего при этом уплотнения — *внутреннюю работу*; и, наконец, она совершает еще *внутреннюю* работу вследствие собственного расширения на своем пути до твердого тела. Первые две причины вызывают повышение температуры, а третья приводит к ее понижению.

Изменения температуры заметил в 1872 г.³ Дюфур и при *диффузии газов* через пористые перегородки. Наблюдая диффузию водорода в воздух и воздуха в углекислоту, он установил, что всегда имеет место повышение температуры на той стороне, где происходит диффузия, и понижение на той стороне, где газ выходит из стенки. По его мнению, эти изменения происходят вследствие сгущения газа на поверхности, через которую газ выходит. Из такого представления о диффузии вытекала и обратная задача, которой Б. Феддерсен и занялся уже в следующем году⁴. Он показал, что явления диффузии происходят и в однородном газе, если только температура на обеих сторонах

¹ А. Mousson (родился в 1805 г.) — профессор физики Цюрихского политехникума, „Pogg. Ann.", CV, стр. 161, 1858.

² „Comptes rendus", LXXIII, стр. 492. — Paolo Volpicelli (1814—1880) — профессор математической физики Римского университета.

³ „Arch. de sciences phys. et nat.", 1872; „Revue der Fortschritt. der Naturwissenschaften", стр. 1, 1874.

⁴ „Pogg. Ann.", CXLVIII, стр. 302, 1873.

пористой перегородки поддерживается на различных уровнях. В этом случае газы всегда переходили с холодной стороны на теплую. Феддерсен назвал это явление *термодиффузией*. Он сам, однако, указал, что его работа вызвана статьей К. Неймана ¹, в которой было показано, что если в бесконечно длинной или в замкнутой в самой себе трубке, наполненной каким-нибудь газом, одна часть последнего обладает плотностью, отличной от остального газа, и если оба конца трубки искусственно поддерживать при различной температуре, то происходит непрерывное движение газа от холодного места к теплоте. Данные Феддерсена были позднее подтверждены Осборном Рейнольдсом ². Последний установил, что при просачивании водорода через пористую пластинку, когда начальное давление было равно атмосферному, а с обеих сторон пластинки поддерживалась постоянная разность температур в 160° F (52 и 212°), — получалась постоянная разность давлений на обеих сторонах пластинки — в 1 дюйм ртути, при этом более высокое давление оказывалось на более теплой стороне. Он сравнил затем соответствующие разности давлений и температур для различных газов и различных пластинок и пришел, таким образом, к общему закону, что разности давлений не зависят от толщины пластинок, а зависят только от размера их пор и от плотности газа или от расстояния между его молекулами. Но в этом он нашел надежное доказательство молекулярного строения газов ³. Шарль Соре ⁴ особым образом применил понятие о тепловой диффузии и к жидкости. Концы вертикальной цилиндрической трубки, наполненной однородным соляным раствором (калийной селитры или поваренной соли), он поддерживал при различных температурах (верхний конец при 78°, а нижний при 15—18°) и наблюдал, что в холодной части трубки раствор стремился

¹ „Ber. über die Verhandlung der k. Sächsisch. Ges. d. Wissensch., math.-phys Classe", стр. 49, 1872. С. Neumann (родился в 1832 г.) — профессор математической физики в Лейпциге, сын Фр. Неймана.

² „Experimental researches on thermal transpiration of gases through porous plates and on the laws of transpiration and impulsion, including an experimental proof that gas is not a continuous plenum", „Proc. of the Roy. Soc.", XXVIII, стр. 304, 1879; „Note on thermal transpiration", „Proc. of the Roy. Soc.", XXX, стр. 300, 1880. О. Рейнольдс, по-видимому, не знал работы Феддерсена, так как он говорит: „К числу наиболее известных явлений принадлежит различие в скоростях, с которыми различные газы просачиваются через тонкие каналы, и разность давлений, возникающая в том случае, когда два различных газа, находившихся первоначально при одинаковом давлении, разделяются пористой перегородкой. Но, по-видимому, до сих пор еще не было сделано попытки выявления аналогичного явления, а именно, не станет ли газ проходить через перегородку при наличии одной лишь разности температур на той и другой сторонах пластины, при отсутствии какой-либо первоначальной разности давления или различия химического состава. Мне также неизвестно, высказал ли кто-нибудь предположение о возможности подобного действия разности температур".

³ „Этот закон является не чем иным, как абсолютным экспериментальным доказательством того, что газ имеет разнородное строение и состоит из отдельных молекул, что он не представляет собою непрерывного целого, каждая сколь угодно малая часть которого обладает теми же свойствами, что и целое".

⁴ „Arch. des scienc. phys. et nat." (3), I, стр. 48, 1879; (3), IV, стр. 209, 1880. — Ch. Soret — профессор физики в Женеве.

302 ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ВНУТРЕННЯЯ РАБОТА

концентрироваться за счет теплой части и что это действие быстро возрастало с увеличением первоначальной концентрации раствора. И в данном случае диффузию следует рассматривать как особое действие тепловых молекулярных движений, ибо, если бы мы пожелали объяснить ее только известным возрастанием растворимости солей с повышением температуры, пришлось бы ожидать перемещения соли в направлении, прямо противоположном тому, какое наблюдается в действительности ¹.

Своеобразную аномалию превращения внешней и внутренней работы открыл в 1857 г. Джоуль ² в каучуке. В то время как металлические провода при растягивании охлаждаются, а при сжатии нагреваются, шнуры из вулканизированного каучука дают как раз обратное явление. Гови и Пьер полностью подтвердили данные Джоуля, а Виллари ³ попытался объяснить это странное явление. Он подвесил термоэлектрический столбик на шелковой нити таким образом, чтобы его можно было легко опускать на каучуковую полосу, которая попеременно то растягивалась, то сжималась. Таким путем он установил, что повышение температуры при растяжении каучука абсолютно больше, чем понижение ее при сжатии, так что после многочисленных деформаций в ту и другую сторону всегда получается большой избыток теплоты. Этот избыток указывает на то, что часть внешней работы обращается во внутреннюю. Таким образом, температурные изменения при расширении газов и при расширении каучука имеют различные источники; у первых происходит охлаждение вследствие того, что они производят внешнюю работу; у каучука же происходит нагревание вследствие того, что он поглощает внутреннюю работу. Это объяснение образования тепла находит, по мнению Виллари, блестящее подтверждение в опытах Варбурга ⁴. «Последний доказывает, что твердые тела нагреваются, когда они издают или проводят звук, так как в них живая сила превращается во внутреннюю работу и теплоту; поэтому в телах развивается тем больше тепла, чем быстрее в них прекращается звучание или передаваемое ими звуковое колебание. Из всех исследованных тел каучук потому нагревается сильнее других, что он быстрее всего гасит звуковые колебания. Аналогия между наблюдениями Варбурга и моими является полной и его объяснения согласуются с приведенными мною раньше данными. Отсюда мы можем также вывести заключение, что и те тела, которые охлаждаются при растяжении и нагреваются при сжатии, должны при ряде повтор-

¹ Следует, однако, отметить, что подобные наблюдения были сделаны Людвигом (родился в 1816 г., профессор физики в Лейпциге) уже в 1856 г. („Wiener Sitzungsber.", XX, стр. 539), причем он воспользовался почти тем же методом, как и Соре. Людвиг соединил вместе две реторты, наполненные каждая 8,98%-ным раствором сернистого натрия, и поместил одну из них *A* в кипящую воду, а другую *B* — в тающий лед. По прошествии семи суток более теплая реторта *A* содержала уже только 4,31%-ный раствор, между тем как в холодной реторте *B* соль выкристаллизовалась.

² „Philosophical Magazine" (4), XIV, стр. 226; XV, стр. 538.

³ „Nuovo Cimento" (2), I, стр. 301; „Pogg. Ann.", CXLIII, стр. 274, 1871.

⁴ „Erwärmung fester Körper durch das Tönen", „Pogg. Ann.", CXXXVII, стр. 632, 1869.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ 303

ных быстрых растяжений нагреваться, так как и в таких телах часть затраченной силы должна обращаться во внутреннюю работу, а затем в теплоту».

В 1865 г. Тэту и Б. Стюарту ¹ показалось, будто им удалось установить *прямое превращение материального движения в эфирное*. Приводя при помощи зубчатых колес во вращение легкие алюминиевые кружки в сильно откачанном сосуде, они наблюдали выделение теплоты, которая как будто совершенно не зависела от степени разрежения воздуха и которую, казалось, нельзя было объяснить какой-либо иной причиной, кроме упомянутой выше. В следующем году эти физики ² показали, что указанное нагревание не может быть объяснено ни индуцирующим влиянием земного магнетизма, ни трением подшипников. Но, с другой стороны, они не считали совершенно исключенным, хотя при их опытах это и представлялось маловероятным, что вследствие несовершенства аппарата, при помощи которого приводились в движение кружки, эти последние могли приходить в колебание, которое постепенно поглощалось вязкостью металла и превращалось, таким образом, в теплоту ³. О. Мейер тоже указывал на неравномерность движения, и из отклонений кружка, которые Тэт и Стюарт приписывали только его несколько косому положению по отношению к оси, он заключил о качании кружка и вызванном этим переходе механического движения в теплоте ⁴. Несколько лет спустя Тэт и Стюарт ⁵ вновь повторили эти опыты с усовершенствованными приборами и, перебрав различные возможные причины образования теплоты, вновь пришли к выводу, что все-таки часть ее может быть объяснена только так, как они это предложили раньше. Проблемой, которая непосредственно зависела от представления об агрегатных состояниях тел и которая при новой теории тепла должна была получить совсем иной вид, был вопрос о *теплопроводности* тел. Пока на агрегатные состояния смотрели как та более или менее неизменные формы существования отдельных веществ и пока теплоту считали элементарной материей, независимой от других веществ, — до тех пор можно было допускать, что эта материя может свободно распространяться только в твердых телах, а не в жидких и газообразных. Но когда теплоту признали некоторым родом движения, свойственным и мельчайшим частицам весомой материи, возникла необходимость выяснить возможность передачи этого движения от частицы к частице при всех вообще агрегатных состояниях вещества. Для твердых веществ теплопроводность была уже наперед обеспечена; для газообразных тел, согласно новой теории газов, необходимость выравнивания теплового движения внутри газа не могла не быть признана; следовательно, теперь в первую очередь представлялось необходимым экспериментально

¹ „Proc. of the Roy. Soc.", XIV, стр. 339, 1865; „Philosophical Magazine" (4), XXX, стр. 314.

² „Proc. of the Roy. Soc.", XV, стр. 290, 1886; „Philosophical Magazine" (4), XXXIII, стр. 224; „Pogg. Ann.", CXXXVI, стр. 165.

³ „Pogg. Ann.", CXXXVI, стр. 166.

⁴ Там же, CXXXVII, стр. 381; CXXXV, стр. 285.

⁵ „Proc. of the Roy. Soc.", XXI, стр. 309, 1870.

304 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ

исследовать теплопроводность *жидкостей*, строение которых и по новой теории никоим образом еще нельзя было признать ясным.

Последние по времени опыты над теплопроводностью жидкостей во время господства старой теории теплоты были опубликованы в 1839 г. Дебре ¹; они относились, впрочем, только к *воде*. В наполненный водою деревянный цилиндр Дебре сбоку вставил герметически плотно семь термометров таким образом, что их шарики были расположены на оси цилиндра, а трубки выступали наружу. Нагревание производилось с помощью помещенного на поверхности воды медного ящика, через который протекала горячая вода определенной температуры. Когда наступило стационарное состояние, которое установилось лишь спустя 36 час, термометры показали ту же кривую распределения температур, какая наблюдалась на твердых телах, но только здесь падение температуры было гораздо более быстрым. Дебре сделал отсюда вывод, что жидкости проводят теплоту совершенно таким же образом, как и твердые тела, но только в гораздо меньшей степени. И только 30 лет спустя — через много лет после победы новой теории теплоты, а именно, в 1868 г. — Паальцов ² предпринял новые измерения проводимости различных жидкостей, которые он провел по тому же методу, что и Дебре. При этом он, однако, больше руководился мыслью о сопоставлении электропроводности и теплопроводности, чем чисто термическими соображениями. С точки зрения этой цели ему представилось достаточным получить два следующих параллельных ряда:

ПРОВОДИМОСТЬ ДЛЯ

теплоты:

Ртуть
Вода
Медный купорос
Серная кислота
Цинковый купорос
Раствор поваренной соли

электричества:

Ртуть
Серная кислота
Раствор поваренной соли
Цинковый купорос
Медный купорос
Вода

Однако с этого времени начали более усердно заниматься вопросами теплопроводности. Гютри ³ около того же времени, как и Паальцов, измерил относительные сопротивления, которые оказывают тонкие слои различных жидкостей проведению теплоты, и отсюда сделал выводы о теплопроводности жидкостей. Однако полученные им результаты значительно разошлись с результатами Паальцова, и только одно казалось твердо установленным как по тем, так и по другим данным, — что проводимость с температурой повышается. Абсолютные числа

¹ „Sur la propagation de la chaleur dans les liquides", „Ann. de chim. et de phys." (2), LXXI, стр. 206; „Pogg. Ann.", XLVI, стр. 340.

² „Pogg. Ann.", CXXXIV, стр. 618. A. Paalzow — преподаватель физики в Берлине.

³ „Phil. Trans.", стр. 637, 1869.— Fred. Guthrie (1833—1886) — под конец жизни профессор физики в Королевской горной школе в Лондоне.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ 305

для проводимости опубликовал впервые Лундквист ¹ в 1869 г., пользуясь методом, который уже в 1861 г. Ангстрем ² применил для твердых тел; он нагревал и охлаждал жидкость через равные промежутки времени и наблюдал температуры в двух точках на оси цилиндра, в котором содержалась эта жидкость, и затем вычислял ее абсолютную теплопроводность. Таким путем он, между прочим, нашел (если l обозначает проводимость, s — удельный вес и t — температуру):

	l	s	t
Для воды	0,0933	1,000	40°, 8
„ раствора цинкового купороса . .	0,0964	1,242	44°, 1
„ „ поваренной соли . . .	0,0895	1,178	43°, 9 ³ .

Иные результаты получил спустя пять лет Винкельман ⁴, пользуясь методом, который Стефан раньше применил для измерения теплопроводности газов и который мы опишем ниже; вот данные Винкельмана:

	l		
Вода	0,0924	(удельный вес 1,110) (20°/о-ный)	t от 0 до 20°
Раствор поваренной соли .	0,1065		
Раствор хлористого калия .	0,1147		
Алкоголь	0,0904		
Сероуглерод	0,1202		
Глицерин	0,0449		

И, наконец, опять-таки иные данные для теплопроводности жидкостей опубликовал в 1879 г. Г. Вебер ⁵, который производил эти измерения по другому методу. Слой исследуемой жидкости, толщиной всего в несколько миллиметров, заключенный между двумя горизонтальными медными пластинками и находившийся при средней комнатной температуре, он охлаждал с нижней поверхности до 0° и наблюдал ход температуры на верхней поверхности.

Из многочисленных наблюдений он затем вычислил приведенную ниже таблицу, в которой γ обозначает удельную теплоемкость единицы объема, а e — величину, которую он назвал *температуропроводностью* соответствующих веществ:

¹ „Undersökning af några vätskors lednings förmåga för värme“, „Upsala Univ. årsskrift“, стр. 1, 1869.

² „Pogg. Ann.“, CXIV, стр. 513; из „Oefversigt af K. Vet Acad. Förhandl“, 1861.

³ Определение теплопроводности здесь то же, которое в свое время дал Фурье, и которое было нами изложено в 1 выпуске (стр. 207). Единицами меры являются здесь грамм, сантиметр, минута и градус по Цельсию.

⁴ „Pogg. Ann.“, CLIII, стр. 481, 1874. — A. Winkelmann — профессор физики в Йене.

⁵ „Wied. Ann.“, X, стр. 103, 204 и 472, 1879. — H. Fr. Weber — профессор в Цюрихе.

	l	γ	$e = \frac{l}{\gamma}$
Вода	0,0745	1,000	0,0745
Раствор медного купороса . .	0,0710	0,984	0,0733
Цинковый купорос в возрастающей концентрации	$\left\{ \begin{array}{l} \text{от } 0,0711 \\ \text{до } 0,0691 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{от } 0,976 \\ \text{до } 0,962 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{от } 0,0729 \\ \text{до } 0,0718 \end{array} \right.$
Раствор поваренной соли . . .	0,0692	0,942	0,0735
Глицерин	0,0402	0,738	0,0545
Алкоголь	0,0292	0,450	0,0649
Сероуглерод	0,0250	0,325	0,0769
Эфир	0,0243	0,378	0,0643
Бензин	0,0200	0,270	0,0741 ¹

Вебер пришел на основании этих данных к заключению, что температуропроводность e можно рассматривать как приблизительно постоянную величину, так как даже для таких необыкновенно вязких жидкостей, как глицерин, она сравнительно немного отклоняется от среднего значения ². Следовательно, теплопроводность можно было бы представить формулой $l=e\cdot\gamma$ или $l=e\cdot s\cdot c$, и тогда она лишь незначительно зависела бы от внутреннего трения, но зато она была бы прямо пропорциональна удельной теплоемкости единицы объема, а вместе с тем и запасу теплоты в ней. Что касается зависимости от температуры, то дальнейшие опыты показали, что теплопроводность, во всяком случае, с повышением температуры возрастает, причем, вероятно, по линейному закону.

Впрочем, с точки зрения теплопроводности ртуть, по-видимому, занимает особое место в ряду прочих жидкостей, так как при измерении ее теми же самыми методами, какие применялись для прозрачных неметаллических жидкостей, получилась температуропроводность $e=2,00$, т. е. почти в 30 раз большая, чем у тех жидкостей. «Этот результат, — говорит Вебер, — заставляет думать, что процесс теплопровод-

¹ „Wied. Ann.", X, стр. 315.

² В. Беетц, определивший около этого времени теплопроводность многих жидкостей, тоже нашел, что она возрастает с подвижностью частиц, т. е. с уменьшением вязкости; по его мнению, это вполне согласуется с тем фактом, что проводимость возрастает с температурой („Wied. Ann.", VII, стр. 435). Но Кри („Proc. of the Roy. Soc.", XLII, стр. 300, 1887) рядом новых опытов прямо подтвердил положение Вебера, что теплопроводность пропорциональна произведению плотности на удельную теплоемкость. Быть, может, к данному вопросу имеют отношение интересные наблюдения Герберта Томлинсона, что теплопроводность железного стержня уменьшается при продольном и увеличивается при поперечном его намагничивании („Proc. of the Roy. Soc.", XXVII, стр. 109, 1878). Между тем Наккари и Беллати уже ранее пришли по этому вопросу к отрицательному результату, а именно, они нашли, что намагничивание железа совершенно не влияет на его теплопроводность („Cimento" (3), I, стр. 72 и 107; „Beiblätter zu Wied. Ann.", I, стр. 475).

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГАЗОВ 307

ности в металлических жидкостях зависит от совершенно иных моментов, чем в неметаллических. В то время как в последних теплопроводность, по-видимому, заключается в простой передаче живой силы движущихся весомых молекул от слоя к слою, найденный для ртути результат позволяет предполагать, что в распространении теплоты внутри металлических веществ существенным элементом является *внутреннее лучеиспускание*, происходящее от слоя к слою, и что происходящая между каждыми двумя соседними слоями передача живой силы движущихся весомых молекул имеет лишь второстепенное значение. Этот факт бросает совершенно новый свет на установленную, но до сих пор оставшуюся не объясненной *аналогию между теплопроводностью и электропроводностью металлов*. Теперь возникает надежда, что параллельный ход обеих этих проводимостей может быть объяснен»¹. При этом Вебер определенно отмечает, что произведенные раньше исследования проводимости жидкостей всегда давали разноречивые результаты, что его собственные результаты в свою очередь отличаются от всех прежних, но пытается доказать, что при введении надлежащих поправок последние можно привести в согласие с полученными им числами. Тем не менее, и Веберу не удалось окончательно разрешить этого вопроса. Винкельман в целом ряде статей особенно настойчиво отстаивает свои выводы против Вебера².

Благоприятнее, чем с жидкостями, по крайней мере, в теоретическом отношении, обстояло дело с *газами*, так как здесь действие неуловимых молекулярных сил было исключено и новейшая теория газов создала простые и ясные соотношения. После того как Клаузиус сумел выразить формулой скорость поступательного движения молекул газа, а Максвелл дал формулу для числа соударений между этими молекулами за определенное время, было уже нетрудно вычислить и скорость выравнивания различных движений в системах молекул, т. е. теплопроводность газов. Максвелл в своих известных статьях 1860 г.³ и Клаузиус в работе 1862 г.⁴, где он отстаивал механическую теорию газов против Иохмана, прямо вывели для теплопроводности l газов формулы, которые можно представить в следующем виде: $l = a \cdot \eta \cdot c$ и которые отличались друг от друга только постоянным множителем a . Так как коэффициент внутреннего трения η и удельную теплоемкость c при постоянном объеме можно было определить отдельно, то отсюда можно было просто вычислить теплопроводность газов. Действительно, Максвелл имел возможность прямо показать, что теплопроводность атмосферного воздуха должна быть в 3500 раз меньше теплопроводности железа, а Клаузиус, — что она должна быть в 1400 раз меньше теплопроводности свинца. Если допустить, а это, строго говоря, не вполне верно, что удельная теплоемкость для каждого газа есть величина постоянная, то теплопроводность будет изменяться только в зависимости от коэффициента внутреннего трения и вместе с ним будет

¹ „Wied. Ann.", X, стр. 494.

² См. полемику между Винкельманом и Вебером в „Wied. Ann.", X, стр. 668; XI, стр. 352 и 735.

³ „Philosophical Magazine" (4), XX, стр. 31, 1860.

⁴ „Pogg. Ann.", CXV, стр. стр. 1, 1862.

308 ОПЫТНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВ

независима от давления, но в то же время она будет *прямо пропорциональна квадратному корню из температуры*. Клаузиус тоже признал правильность этих положений и еще отметил, что наиболее легкие газы должны давать одновременно наибольшие коэффициенты трения и наибольшие теплопроводности. Но Максвелл, как уже было упомянуто, считавший необходимым допустить пропорциональность внутреннего трения не квадратному корню, а просто температуре, счел необходимым принять то же и для теплопроводности; соответственно этому он вновь переработал всю свою теорию газов, а также и теорию теплопроводности с новой точки зрения, допустив, что между молекулами действует отталкивательная сила, обратно пропорциональная пятой степени расстояния¹. Однако выведенные отсюда числа оказались столь же мало согласными с экспериментальными данными, как и числа, полученные с помощью формул Клаузиуса². Правда, относительные величины теплопроводности газов, исчисленные по формулам Клаузиуса и Максвелла, оказались в достаточном; согласии с относительными величинами, полученными из непосредственных измерений, по крайней мере, для простых газов, и это совпадение правильно рассматривалось как триумф кинетической теории газов; но по сравнению с абсолютными величинами, полученными из опытов, числа Максвелла оказались как раз настолько преувеличенными, насколько числа Клаузиуса преуменьшенными.

Опытным путем теплопроводность газов была впервые установлена Магнусом в 1860 г.³, но вполне определенно он доказал ее существование только для *водорода*. Если герметически закрытый полый сосуд извне нагревать равномерно со всех сторон, то находящийся посередине его термометр будет нагреваться как под влиянием излучения, так и под влиянием теплопроводности заключенного в сосуде газа; воздушных же токов при равномерности нагревания не будет. Так как нет газа совершенно теплопрозрачного, то нагревание термометра в сосуде под влиянием лучеиспускания будет слабее, чем в вакууме, и это

¹ „Philosophical Magazine" (4), XXXV, стр. 214, 1868.

² По теории Клаузиуса получается формула $l = \frac{5}{4} \eta c$, по теории Максвелла $l = \frac{5}{3} \eta c$; О. Мейер („Kinet. Theor. d. Gase", стр. 331) позднее вывел из прежней, теории Клаузиуса и Максвелла, пользуясь максвелловским законом распределения скоростей, формулу $l = 1,53 \eta c$.

³ „Pogg. Ann.", CXII, стр. 497, 1861 (доложено в Берлинской академии наук 30 июля 1860 г. и 7 февраля 1861 г.). Магнус был, по собственным его словам, наведен на это исследование наблюдением Грове („Philosophical Magazine" (3), XXVII, стр. 445 и XXXV, стр. 114, 1845 и 1849; также „Pogg. Ann.", LXXVIII, стр. 366), который заметил, что платиновая проволока накаливается гальваническим током в водороде менее сильно, чем в атмосферном воздухе или в другом газе. Поггендорф и Клаузиус в свою очередь отметили, что эти явления относятся к тому же разряду явлений, как и интересные наблюдения Дюлонга и Пти (см. 1 выпуск настоящей части, стр. 210) над охлаждением тел в различных газах. Замечательно высокая теплопроводность водорода рассматривалась, конечно, как доказательство его металлической природы, поэтому исследователи были склонны из всех газов сохранить теплопроводность только за одним водородом.

ОПЫТНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВ 309

ослабление может быть в большей или меньшей степени нейтрализовано или даже превращено в более сильное нагревание лишь теплопроводностью заключенного в сосуде газа. В последнем случае теплопроводность газа выявляется с полной несомненностью. Наполняя сосуд различными газами и нагревая его извне все время совершенно одинаковым образом, Магнус получил для термометра, помещенного посредине сосуда, следующие относительные повышения температуры:

Вакуум	100	Болотный газ	80,3
Атмосферный воздух	82,0	Маслородный газ	76,9
Водород	111,1	Аммиак	69,2
Угольная кислота	70,0	Синерод	75,2
Окись углерода	81,2	Серная кислота	66,6 ¹
Закись азота	75,2		

Этими опытами теплопроводность водорода была бесспорно доказана; у других же газов Магнус предполагал преобладание тепловой непрозрачности над существующею, быть может, теплопроводностью, что согласовалось также с тем фактом, что при разрежении газов в сосуде указанные температуры повышались. В 1871 г. Нарр² вернулся к методу охлаждения Дюлонга и Пти и на основании наблюдений над временем охлаждения сосуда, наполненного нагретым льняным маслом, в пустоте, водороде, атмосферном воздухе, азоте и угольной кислоте определил относительную теплопроводность этих газов. Стефан³ усовершенствовал этот способ, и ему удалось получить абсолютные величины постоянных теплопроводности. После многократных попыток он остановился на металлическом сосуде с двойными стенками, внутренняя полость которого служила *воздушным термометром*; пространство между стенками заполнялось исследуемым газом. Перед каждым опытом этот прибор во всех своих частях приводился к одинаковой (комнатной) температуре, после чего его погружали в сосуд со снегом и льдом и затем наблюдали ход термометра. Так как влияние лучеиспускания при этом, по Стефану, ничтожно, то количество тепла, исходящего от внутренней стенки, зависит только от разности температуры, расстояния и величины стенок, равно как от теплопроводности газа, заполняющего пространство между стенками. Таким образом, из этого опыта можно путем исчисления получить величину теплопроводности газа. Указанным методом Стефан получил для абсо-

¹ „Pogg. Ann.", CXII, стр. 511.

² „Pogg. Ann.", CXLII, стр. 123, 1871. — F. Narr (родился в 1844 г.) — профессор физики в Мюнхене.

³ „Wiener Sitzungsber.", LXV, 2 отдел, стр. 45, 1872; LXXII, 2 отдел, стр. 69, 1876. О соответствии найденных величин теплопроводности теоретическим расчетам Стефан говорит следующее: „Немногие из физических теорий могут представить столь блестяще подтвердившиеся теоретические определения; поэтому динамическую теорию газов можно, пожалуй, считать одною из наиболее прочно установленных в физике. Другой закон, вытекающий из той же теории, а именно, независимость теплопроводности газа от его плотности, тоже с полной достоверностью подтвердился на опыте". — J. Stefan (родился в 1835 г.) — профессор физики Венского университета.

310 ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ГАЗОВ

лютной проводимости воздуха число 0,0000558, а для относительных величин проводимости других газов — следующие числа:

Атмосферный воздух . . .	1,000	Окись углерода	0,981
Угольная кислота	0,642	Кислород	1,018
Окись азота	0,665	Болотный газ	1,372
Маслородный газ	0,752	Водород	6,718

Все дальнейшие измерения производились с помощью подобных же приборов и по тому же методу. Винкельман ¹ получил этим путем числа, достаточно согласные с стефановскими; а Кундт и Варбург ² лишь незначительно отклоняющиеся от них.

О. Е. Мейер сопоставил наблюденные величины с теми, которые он вычислил по своей формуле $\lambda = 1,53 \cdot \eta \cdot c$, и получил следующую таблицу ³:

Абсолютные величины теплопроводности

	Вычислен- ные	Наблюден- ные	Исследователи
Атмосферный воздух . . .	0,0000492	0,0000480	Кундт и Варбург
		0,0000525	Винкельман
		0,0000558	Стефан
Водород	0,0003497	0,0003324	Винкельман
Окись углерода	0,0000490	0,0000510	"
Азот	0,0000491	0,0000524	"
Кислород	0,0000502	0,0000563	"
Угольная кислота	0,0000407	0,0000317	"
Закись азота	0,0000425	0,0000363	"
Болотный газ	0,0000829	0,0000647	"
Маслородный газ	0,0000542	0,0000414	"

Таблица показывает, что для всех газов с двухатомной частицей вычисленные и наблюденные величины достаточно хорошо совпадают, тогда как для всех газов с более высокой атомностью молекул исчисленные величины больше наблюденных. По этому поводу Больцман высказал чрезвычайно важную идею, приняв в расчет возможность

¹ „Pogg. Ann.", CLVI, стр. 497, 1875; CLVII, стр. 497, 1876; CLIX, стр. 177, 1876. Обе последние работы поставили себе целью, главным образом, выяснить влияние температуры на теплопроводность. В первой своей работе Винкельман еще находил, что его результаты вполне соответствуют закону температур Максвелла („Pogg. Ann.", CLVII, стр. 549), однако во второй, приняв во внимание изменение теплоемкости с температурой, он пришел к выводу, что температурный коэффициент теплопроводности не соответствует ни выводам Максвелла, ни выводам Клаузиуса.

² „Pogg. Ann.", CLVI, стр. 177, 1875.

³ „Kinetische Theorie der Gase", стр. 194, Breslau 1877.

ИНТРАМОЛЕКУЛЯРНОЕ ДВИЖЕНИЕ 311

и влияние *интрамолекулярных движений*, выполняемых атомами внутри молекул независимо от движения последних. Тотчас же после появления работы Стефана в 1872 г.¹ он обратил внимание на то обстоятельство, что теплопроводность газов вообще не может быть точно исчислена теоретическим путем, так как без знания внутренней структуры молекул нельзя на основе теории газов определить, каким образом интрамолекулярное движение передается от частицы к частице. По его словам Максвелл, который при своем исчислении теплопроводности не принял в расчет интрамолекулярных движений, тем самым молча допустил, что часть теплового движения, переходящая на составные части молекул, на атомы, распространяется с такою же скоростью, как молекулярное движение; это предположение просто, но, тем не менее, оно мало вероятно; преувеличенные числа, полученные Максвеллом, говорят, по мнению Больцмана, за то, что интрамолекулярное движение участвует в проведении теплоты в меньшей степени, чем это должно было бы быть согласно сделанному допущению. Поэтому спустя несколько лет Больцман снова вернулся к этому вопросу² и на основании опубликованных уже тогда измерений теплопроводности газов он решил обратную задачу, а именно он определил, какие относительные доли в процессе проведения тепла приходятся на *поступательное движение* молекул и на *интрамолекулярное движение*. Если допустить, что последнее имеет такую же скорость, как и поступательное движение молекул, можно путем исправления формулы Максвелла получить для теплопроводности газов выражение $I_{\text{total}} = \frac{5}{2} \eta c$; если же допустить, что теплопроводность осуществляется исключительно поступательным движением молекул, получается:

$$I_{\text{prog}} = \frac{15(\gamma - 1)}{4} \eta c,$$

где γ обозначает отношение удельных теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме. Из сравнения полученных таким путем величин с числами, определившими в результате опытных измерений, он получил формулу:

$$I = \frac{3}{13} I_{\text{total}} + \frac{10}{13} I_{\text{prog}},$$

¹ „Wiener Sitzungsber.", LXVI, 2 отдел, стр. 333, 1872. Здесь Больцман говорит: „Тем не менее, это (т. е. уточнение формулы теплопроводности Максвелла путем принятия в расчет интрамолекулярного движения) представляется мне очень произвольным, так как, если ввести в расчет интрамолекулярное движение каким-либо иным образом, можно получить для постоянной теплопроводности, значительно отклоняющиеся величины. Поэтому до более близкого ознакомления с интрамолекулярным движением точное исчисление этой постоянной теоретическим путем представляется мне невозможным". *О связи между внутренней работой при повышении температуры газов и числом атомов в газовых молекулах* Больцман представил работу Венской академии наук уже 28 ноября 1867 г. („Sitzungsber. der Wiener Akad.", 2 отдел, LVI, ноябрьский номер 1867, Отдельный оттиск стр. 1—9).

² „Wiener Sitzungsber.", LXXII, стр. 458, 1876 г.; „Pogg. Ann.", CLVII, стр. 457

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ

которая дает для всех газов постоянные теплопроводности, достаточно хорошо согласующиеся с данными измерений. Позднее О. Е. Мейер¹ получил аналогичную формулу, приняв для распространения кинетической энергии молекул упомянутое выше уравнение $l=1,53\eta c$, а для проведения атомной энергии выведенное им из диффузии уравнение $l=\eta c$. Правильность построенной таким образом формулы он показал на следующей таблице:

Теплопроводность

	Абсолютная		Относительная	
	вычислен- ная	наблюден- ная	вычис- ленная	наблю- денная
Угольная кислота . . .	0,0000328	0,0000317	0,667	0,642
Закись азота	0,0000342	0,0000363	0,635	0,665
Аммиак	0,0000524	—	1,064	0,917
Болотный газ	0,0000677	0,0000647	1,377	1,372
Этилен	0,0000422	0,0000414	0,858	0,752 ²

В 1881 г. Л. Гретц³ снова пришел к иным результатам, оспаривая главным образом винкельмановское определение температурного коэффициента теплопроводности. Согласно его измерениям процесс проведения тепла воздухом, водородом, а при низких температурах и угольной кислотой заключается только в передаче энергии поступательного движения, *доля же интрамолекулярной энергии в этом процессе неизмеримо мала*; формула Клаузиуса с постоянной О. Е. Мейера, т. е. $l=1,530\eta c$, вполне пригодна для названных газов. И для зависимости теплопроводности от температуры закон Клаузиуса верен; если и бывают отклонения, то они заключаются лишь в том, что проводимость изменяется медленнее, чем в отношении корней квадратных из температуры. Хотя Винкельман сначала отстаивал правильность своих выводов⁴, но в позднейших своих работах он тоже считает этот вопрос еще не созревшим для окончательного разрешения.

Согласно вышесказанному теплопроводность газов двояким образом связана с их *удельными теплоемкостями*, поэтому она разделяет все трудности, связанные с определением последних. С одной стороны, согласно формуле $l=1,53\eta c$, теплопроводность прямо пропорциональна *удельной теплоемкости при постоянном объеме*; с другой стороны — *отношение между кинетической энергией молекул и интрамолекулярной энергией атомов*, принимающими в теплопроводности, по-видимому,

¹ „Kinetische Theorie der Gase“, стр. 197, Breslau 1877.

² Таблица исчислена по формуле $l = \frac{1,53 \cdot E + \mathfrak{E}}{E + \mathfrak{E}} \eta c$, где E и $\mathfrak{E}$ обозначают молекулярную и атомную энергии.

³ „Wied. Ann.“, XIV, стр. 232, 1881. — L. Gratz — профессор Мюнхенского университета.

⁴ „Wied. Ann.“, XIV, стр. 541, 1881.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ 313

неодинаковое участие, может быть выведено лишь из *отношения между обеими удельными теплоемкостями*. Клаузиус уже в 1859 г., в своем основном сочинении по механической теории газов, выразил отношение между всей энергией молекул H и энергией K чисто поступательного движения молекул при помощи формулы:

$$\frac{K}{H} = \frac{3}{2} \cdot \frac{C - c}{c},$$

где C обозначает удельную теплоемкость при постоянном давлении, а c — при постоянном объеме. Если принять, что у одноатомных молекул вся энергия сводится к энергии поступательного движения, то для таких газов должно быть $K/H=1$ и, следовательно, $(C-c)c=2/3$ или $C/c=5/3$. И, действительно, Кундт и Варбург¹ путем измерений над ртутными парами (молекула которых одноатомна) подтвердили правильность этого отношения, а вместе с тем и формулу Клаузиуса. Для многоатомных частиц определение отношения K/H связано с большими трудностями, так как удельная теплоемкость при постоянном объеме c не определена и необходимая для ее вычисления величина отношения $C/c=k$ точно определена лишь для немногих газов. На основании новейших измерений представляется весьма вероятным, что для всех многоатомных молекул k меньше $5/3$ и что с возрастанием числа атомов оно убывает². Некоторое время думали, что отношение K/H , а, следовательно, и величина k одинаковы, по крайней мере, для всех молекул с равным числом атомов, однако опыты Штрекера³, проведенные им по указанию Кундта над хлором и парами брома и йода, сделали мало вероятным и это предположение. Штрекер нашел:

	k	$\frac{K}{H}$
Для хлора	1,323	0,48
„ брома	1,293	0,44
„ йода	1,294	0,44

между тем как вообще у двухатомных молекул для k не находили числа ниже 1,400 и для K/H ниже 0,60. Такая изменчивость отношения K/H .

вероятно, объясняется соображением, приведенным О. Е. Мейером уже в 1877 г. в его «Кинетической теории газов» (стр. 97), что

¹ „Pogg. Ann.", CLVII, стр. 353, 1876.

² См. также О. Е. Meyer, „Kinetische Theorie der Gase", стр. 94.

³ „Wied. Ann.", XIII, стр. 20, 1881.

314 ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА

энергия атомов зависит, быть может, от химического сродства соответствующих веществ.

О зависимости *удельных теплоемкостей и их отношения от температуры* можно сказать, конечно, еще и того меньше. Большею частью принимали, что такой зависимости не существует; однако Э. Видеман в 1876 г. показал ¹ на различных многоатомных молекулах, как, например, угольной кислоте, этилене, закиси азота и аммиаке, явное *повышение удельной теплоемкости с температурой* ². В таком случае, прежде всего в газах с многоатомными молекулами теплопроводность должна была бы изменяться с температурой не только вследствие изменения коэффициентов внутреннего трения, но также и вследствие изменения удельной теплоемкости, в силу чего *зависимость теплопроводности от температуры не могла бы быть точно представлена ни законом Клаузиуса, ни законом Максвелла*, как это и было отмечено выше.

Любопытный случай перехода света в механическую силу или, по крайней мере, непосредственного превращения лучистой теплоты в движение материальной массы был открыт в 1873 г. Круксом. Впрочем, непосредственное действие тепловых лучей на легко подвешенные тела было уже, по-видимому, замечено давно. В конце сороковых годов Дебре ³ занялся этим вопросом, желая разобраться в том, насколько могут влиять на стрелку гальванометра термические, не электрические причины. Он заметил, что отклонение получается уже при наложении руки на колпак гальванометра или даже при приближении ее к последнему; более сильные отклонения получались от приближения горячей свечи или раскаленного угля; менее сильные, но все-таки заметные отклонения он получал даже ото льда. Получив такие же явления на иглах из бумаги, соломы и пр., Дебре высказал предположение, что эти отклонения вызываются непосредственно лучистой теплотой. Однако Пуллье ⁴ по этому поводу тотчас же отметил, что подобные явления уже давно известны и что их объяснение не требует допущения какого-либо нового вида действия теплоты. По его словам уже в 1751 г. Ж. Э. Бертье ⁵ показал в присутствии Реомюра, ле-Руа, Нолле, Бугэ и других, что длинные соломенные иглы, подвешенные в ящике на шелковой нити, отклоняются при приближении к ящику пламени. Далее, в 1825 г. Френель ⁶ заметил, что две пластинки, подвешенные под ко-

¹ „Pogg. Ann.“, CLVII, стр. 1, 1876. Уже Реньо установил, что у паров большинства жидкостей удельная теплоемкость изменяется с температурой.

² Изменение удельной теплоемкости с температурой, по Видеману, объясняется, может быть, тем, что при нагревании газа происходит постепенно диссоциация, заключающаяся в расслаблении связи между отдельными атомами, на что и расходуется часть теплоты.—Eilhard Wiedemann (родился в 1852г.)— профессор химии в Эрлангене.

³ „Sur la déviation de l'aiguille aimantée par l'action des corps chauds et froids“, „Comptes rendus“, XXIX, стр. 225, 1849.

⁴ „Comptes rendus“, XXIX, стр. 245.

⁵ „Sur l'attraction et la répulsion des corps terrestres sans être électrisés“, „Mém. de l'Ac. des sc.“ 1751. Аналогичные наблюдения сделал Мичелль при помощи прибора, устроенного наподобие крутильных весов, описанного в „Истории оптики“ Пристлея („Geschichte der Optik“, нем. пер. 1776г., стр. 282).

⁶ „Bull. de la Soc. Philomath.“, стр. 84, 1825.

РАДИОМЕТР. ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ КРУКСА 315

локолом воздушного насоса на коконных нитях, взаимно отталкиваются, если вблизи их сконцентрировать солнечные лучи с помощью выпуклой чечевицы. Подобные же случаи притяжения и отталкивания наблюдал в 1826 г. Лебайи, а в следующие годы Ж. Фр. Сэжэ¹. Наконец, сам Пуллье² еще в 1829 г. опубликовал ряд аналогичных опытов и дал для них удовлетворительное объяснение. А именно, если в закрытом ящике со стеклянным окошком подвесить друг над другом на волосках три соломенные иглы и поставить свечу перед окошком, то верхняя и нижняя иглы отклоняются в противоположные стороны, а средняя беспорядочно отклоняется то в одну сторону, то в другую. Отсюда, очевидно, следует, что эти отклонения и движения вызываются токами воздуха, возникающими вследствие нагревания. Дебре³ в свое оправдание ответил на это, что он и не думал приписывать этого явления какому-либо неизвестному действию теплоты; он лишь хотел сказать, что теплота является здесь, *в конечном счете*, причиной данного явления, так как это явление можно объяснить не только воздушными токами, но также изменениями в гигроскопическом или же магнитном состоянии⁴ под влиянием теплоты.

В таком положении находился этот вопрос до тех пор, пока Крукс в 1873 г. не опубликовал своих наблюдений, которые создали большие трудности для теории воздушных потоков⁵. Подвешивая в бутылки легкую соломинку, с шариками из бузиновой сердцевины, стекла, платины, дерева и пр. на конце, он наблюдал, что пока бутылка оставалась наполненной воздухом маленький маятник притягивался нагретыми телами; при выкачивании же воздуха притяжение мало-помалу ослабевало и затем заменялось отталкиванием. От холодных тел получался противоположный эффект; так, в пустоте шарики притягивались льдом. Крукс перебирает все возможные объяснения этих притяжений и отталкиваний, — воздушные токи, электрические силы и, наконец, испарение и сгущение воды, — совершенно так, как это сделал раньше Дебре. Но он отменяет все эти гипотезы и со своей стороны дает следующее объяснение: *«У меня создается впечатление, что отталкивание, сопровождающее лучеиспускание, вызывается непосредственно ударами волн по поверхности движущейся массы... Толкают ли эфирные волны непосредственно движущееся вещество, или же на той загадочной пограничной поверхности, которая отделяет газовую массу от твердой, лежат слои сгущенного газа, которые и воспринимают эти толчки и затем передают их лежащим позади них слоям, — это вопросы, решение которых должно послужить предметом будущих исследований»*. Одновременно с Круксом вопросом о термических притяжениях и отталки-

¹ „Bull. de Ferrussac", VIII, стр. 287, 1827; IX, стр. 87, 167, 239, 1828.

² „Ann. de chim. et de phys." (2), XL, стр. 196, 1829.

³ „Comptes rendus", XXIX, стр. 273, 1849.

⁴ См. стр. 298 первого выпуска 3-й части настоящей работы.

⁵ „Philosophical Magazine" (4), XLVIII, стр. 65 и 81, 1874; „Proc. of the Roy. Soc.", XXII, стр. 37, 1874; „On the action of heat on gravitating masses", „Proc. of the Roy. Soc.", XXII, стр. 373, 1875. Также „Nature", XI, стр. 494. — William Crookes (родился в 1832 г.) — химик и физик, жил в качестве частного лица в Лондоне. Был приверженцем спиритизма.

316 ТЕОРИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ УДАРОВ

ваниях занимался А. Бергнер¹, который тоже выводил движение весомых масс непосредственно из движений эфира. По его мнению, и то тело, которое отдает тепло, и то, которое его получает, притягиваются в направлении поглощенных или излученных лучей; отталкивание же происходит вследствие столкновения противоположных эфирных волн. Но интерес к этому явлению стал всеобщим, когда Крукс устроил свою *световую мельницу*² или, как он сам назвал этот прибор, *радиометр*. Это изобретение тотчас же вызвало такое множество подражаний, видоизменений, усовершенствований, столько научных исследований и пояснительных гипотез, как едва ли какое-либо другое открытие первостепенной важности. Тем не менее, надежды, которые были возложены на этот прибор, не вполне оправдались. Движение крыльев в радиометре Крукс теперь приписал уже не прямому действию эфирных волн, а в соответствии с новой теорией газов — удару прямолинейно движущихся молекул оставшегося еще в радиометре воздуха, как это уже раньше предполагали Тэт и Дюар³. Согласно этому новому объяснению Крукса, частицы воздуха, попадающие на закопченные поверхности крыльев и отражающиеся от них, частично отталкивают вновь притекающие частицы газа, так как, будучи более нагретыми, они обладают большею живою силою. Таким образом, на нагретые стороны крыльев попадает молекул меньше обычного, но зато отдача при их отскакивании больше, так как они более нагреты; поэтому равновесие может все-таки сохраняться. Но это продолжается лишь до тех пор, пока плотность газа еще настолько велика, что средняя длина пути молекул исчезающе мала по сравнению с размерами сосуда. Когда же этого условия больше нет налицо, когда вследствие разрежения воздуха свободные пути молекул удлинились и достигли известной величины, тогда, наоборот, свободные пути оказываются значительно больше размеров сосуда и сила отскакивающих молекул частью или даже полностью уничтожается на поверхности стенок сосуда, и поток молекул, несущихся по направлению к нагретой поверхности крыльев, не будучи более ослаблен встречным потоком, заставляет крылья вертеться в направлении движения потока. Большое количество физиков

¹ „Die Anziehung und Abstossung durch Wärme und Licht und die Abstossung durch Schall“, Boizenburg 1874; реферат в „Klein's Revue“, III, стр. 530.

² „Proc. of the Roy. Soc.“, XXIII, стр. 377, 1875; XXV, стр. 136 и 304, 1877; XXVII, стр. 29: „On repulsion resulting of radiation“. Также „Nature“, XII, стр. 58 и 125; XIII, стр. 391, 450 и 489; XVI, стр. 12. Подробно „Phil. Trans.“, стр. 243, 1878. По замечанию Бертольда („Pogg. Ann.“, CLVIII, стр. 483) Меран уже в 1747 г. описал („Mém. de l'Acad. de Par.“, стр. 630, 1747) световую мельницу в следующих выражениях: „Это горизонтально расположенное железное колесо, около 3 дюйм. диаметром, с шестью спицами, на конце каждой спицы имеется маленькое косо поставленное крыло; ось этого колеса, тоже железная, верхним своим концом держится только за железную намагниченную палочку. Колесо вместе со своею осью весит только 30 гран“. Однако колесо под влиянием сконцентрированных чечевицей солнечных лучей не вращалось правильно, но изменяло направление своего движения. Эти неправильности Меран приписал токам воздуха и для более детального исследования хотел поместить колесо в пустоте, но отказался от этого опыта вследствие технической трудности его выполнения.

³ „Nature“, XII, стр. 217, 1875.

ТЕОРИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ 317

присоединилось к этому объяснению, причем многие из них усмотрели в радиометрических явлениях «неожиданное и замечательное подтверждение новейшей теории газов»¹. Однако другие физики, работавшие с видоизмененными приборами и наблюдающие это явление в несколько ином виде, признали объяснение Крукса неправильным или, во всяком случае, недостаточным и выдвинули другие теории, которые, по их мнению, лучше объясняют это явление. Так, Неезен² снова выступил с защитой более старой точки зрения, согласно которой *воздушные потоки*, поднимающиеся с поверхности нагретых крыльев, вызывают попятное движение этих крыльев. В подтверждение своего объяснения он, прежде всего, пользуется радиометром, в котором крест помещен не симметрично (эксцентрично). «Если, — говорит он, — вращение мельницы происходит вследствие того, что воздух, нагреваясь на поверхностях, поднимается с них и увлекает за собою новые количества воздуха, то с течением времени на эти явления должны оказывать влияние и стенки сосуда радиометра, так как и они нагреваются, значит и на них должен происходить тот же процесс, что и на крыльях. Если же, наоборот, вращение представляет собою только явление реакции, то нет никакой причины для подобного влияния неподвижных стенок. После этого нетрудно понять, что возможное влияние стенок легко будет обнаружить, если радиометр подвесить асимметрично внутри сосуда»³. И Иеезен установил; что на таком радиометре поначалу, вследствие более сильного нагревания закопченных поверхностей, вращение происходит в обычном направлении; но когда стенки прибора постепенно нагреваются, оно может замениться противоположным. Даже при не зачерненных и совершенно равных крыльях, когда нельзя предполагать неравномерности их нагревания, эксцентрические радиометры приходят во вращение от нагревания стенок — даже при том условии, когда крылья защищены от прямого действия лучей света и тепла и нагревается лишь оболочка прибора. На этом основании Иеезен был склонен приписать потокам воздуха в радиометре решающую активную роль в данном явлении. Однако никто из физиков не присоединился к этому мнению, а Целльнер, в своей выдающейся работе о радиометре⁴, находит, что это объяснение так же неудовлетворительно, как и приведенные выше.

Световые лучи, — говорит Целльнер в указанной работе, — падая на какую-либо поверхность, действительно производят на нее отталкивательное действие, но давление света, по исчислениям Максвелла, составляет всего 0,0000000882 фунта на квадратный фут⁵, между тем

¹ Ж. Сале в „Comptes rendus“, LXXXIII, стр. 968, 1876 говорит: „Прибор Крукса утратил свой характер таинственности. Но в то же время современная теория газов получила неожиданное и замечательное подтверждение“.

² „Pogg. Ann.“, CLVI, стр. 144, 1875; CLX, стр. 143, 1877.

³ „Pogg. Ann.“, CLX, стр. 144.

⁴ „Pogg. Ann.“, CLX, стр. 154, 296 и 459, 1877.

⁵ Максвелл говорит („Treatise on Electricity and Magnetism“, London 1873, немецкий перевод, т. II, стр. 548, Berlin 1883): „Если допустить, что сильный солнечный свет развивает на одном квадратном метре 124,1 к²-м энергии в секунду, то в одном кубическом метре солнечных лучей должно содержаться $\frac{124}{300\ 000\ 000}$ или 0,00000041 к²-м энергии. Тогда среднее давление на площадь в один

318 ТЕОРИЯ ИСПАРЕНИЯ

как Крукс установил, что на его радиометр действует сила, в 100 000 раз большая. Электрическими силами радиометрические явления, по мнению Целльнера, тоже не могут быть объяснены, так как эти движения происходят и при замене крыльев радиометра стеклянными полушариями, да и нельзя себе представить такого распределения электричества в приборе, которое давало бы непрерывное движение ¹. Воздушные токи тоже не могут быть причиной движения радиометра, так как при замене крыльев незаконченными полушариями последние при вращении движутся вогнутыми сторонами чашек вперед, тогда как в анемометрах подобного же устройства движение под действием воздушных токов всегда происходит в обратном направлении. Против теории Крукса Целльнер, прежде всего, выдвигает то соображение, что *основная предпосылка этой теории о значительном перевесе длины свободных путей газовых молекул над размерами сосуда ни в коем случае не соответствует действительности*. Тэт и Дюар принимали, что плотность газа в радиометре составляет $\frac{1}{400\,000}$ нормальной, т. е. что давление составляет только 0,00019 мм ртуты, в соответствии с чем средняя длина пути молекул должна была равняться 400 мм. Но Р. Финкенер ² в своих опытах определяет наиболее низкое давление в 0,025 мм, а такому давлению соответствует длина свободного пути всего в 3 мм. Да и сам Крукс определяет давление в обыкновенных радиометрах в 0,19 мм, которому соответствует длина пути всего только в 0,37 мм. Эти длины путей далеко не достигают размеров сосудов, доходящих до 100 мм; а между тем, согласно теории Крукса, они должны были бы быть значительно больше последних, если верно допущение Крукса, что живая сила отраженных молекул передается не другим молекулам, а стенкам сосуда. Кроме того, в полости радиометра помимо разреженного газа имеются еще пары ртути, величины молекул которой гораздо больше, а длины путей короче, чем у газов; это опять-таки должно препят-

квадратный метр, перпендикулярную к направлению лучей, должно составить 0,00000041 кг-м. Так как это давление должно действовать только на освещенную сторону предметов, то последние должны, по-видимому, перемещаться в направлении распространения света. Сконцентрированный электрический свет произвел бы, вероятно, еще более сильное давление, поэтому *возможно, что лучи такого света, падая на тонкую металлическую пластинку, подвешенную в пустоте, могут дать механический эффект, доступный для наблюдения*".

¹ Тем не менее, многие физики, как Челлис, П. Дельсо, де-Фонвиелль, В. Ганкель и др., высказались в пользу электрической теории радиометра. Неезен в конце упомянутой уже работы („Pogg. Ann.", CLX, стр. 153) говорит: „В заключение следует еще отметить, что радиометр, как это уже было замечено другими, очень чувствителен к электризации. При нагревании стеклянный колпак прибора, по-видимому, несколько наэлектризовывается и благодаря этому тоже каким-то образом влияет". Но Мунке уже в 1830 г. предложил электрическую теорию тепловых притяжений и отталкиваний („Pogg. Ann.", XVIII, стр. 239): „Загадочные вращения коромысла в крутильных весах Кулона, о которых я вам сообщал осенью, представляют собою не что иное, как действие термоэлектричества (я это признаю, несмотря на то, что раньше был склонен исключить это влияние) и аналогичны тем явлениям, которые по Марку Vatty („Edinb. Journ. of Science", 1828) должны вызываться светом, а по Пфаффу („Schweigger's Journ.", LVI) — теплотой".

² „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 573.

ствовать возникновению тех условий, которых требует кинетическая теория газов. По всем этим основаниям Целльнер считает единственно возможной *эмиссионную теорию*, или *теорию испарения*, впервые высказанную О. Рейнольдсом ¹, а затем аналогичным образом разработанную Гови ². Согласно этой теории движение крыльев радиометра вызывается разрежением и сгущением приставшего к их поверхности газа. А именно, когда зачерненные поверхности крыльев нагреваются поглощенными ими тепловыми лучами, с них поднимаются, по крайней мере, частично, сгущенные на них газы, и крылья благодаря отдаче начинают вращаться. Целльнер развивает дальше эту теорию; он возвращается к своей идее об испарении твердых тел при обыкновенной температуре и объясняет вращение радиометра не только истечением сгущенных на поверхности крыльев газов, но также и прямым испарением твердого вещества крыльев. «Вызванное эфирными колебаниями, — говорит он, — прямое или косвенное излучение с поверхности тел всегда сопровождается истечением материальных частичек в направлении лучей. Число, масса и скорость частиц, вылетающих в единицу времени, зависят от физических и химических свойств поверхности, от энергии и свойств истекающих лучей». Эмиссионную теорию он считает исчерпывающей, а следовательно, и правильной до тех пор, пока не будет доказано отсутствие в радиометре не только каких-либо паров, но и испаряющихся твердых тел. Однако и эта теория не могла одержать полной победы; наряду с ней продолжает существовать *кинетическая теория*, насчитывающая во всяком случае не меньшее число сторонников; возможно, что в каждой из этих теорий есть своя доля правды и что на движения радиометра влияет *много различных обстоятельств*. Для разрешения этого вопроса следует произвести еще много таких опытов, которые имели бы своей целью не столько видоизменение приборов и вызываемых при их помощи явлений, сколько точное определение общей зависимости этих движений от действующих причин, от проникающих в прибор эфирных волн, от свойства и формы крыльев и стенок сосуда, от рода находящегося в приборе газа и т. д. И действительно, в новейшее время работы с радиометром, правда, уменьшившиеся в числе, приняли именно такое направление.

После рассмотрения действия теплоты в области молекулярной физики нам следует еще упомянуть о *применении теории теплоты к космическим проблемам*, которое в это время сыграло не малую роль, и которое тоже очень характерно для новейшего развития физики. *Дискуссии по поводу второго начала теории теплоты* показали, что при относительно высоком уровне преобладающих средних температур над абсолютным нулем не вся, во всяком случае, теплота тел может быть превращена в другие формы энергии, и что в результате естественно протекающего процесса выравнивания разности температур запас способной к превращению теплоты должен постепенно все уменьшаться.

¹ О. Reynold's (профессор Owen's College в Манчестере). „On the force caused by evaporation and condensation at a surface", „Nature", X, стр. 174, 1874; „On attraction and repulsion resulting from radiation of heat", „Nature", XII, стр. 6, 1875.

² „Comptes rendus", LXXXII, стр. 1410, 1876.

320 СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

Обобщение второго начала теории теплоты до степени общего принципа для всех форм энергии заставило распространить и эти выводы на все формы энергии, вследствие чего постепенное уменьшение всякой вообще способной к превращению энергии до нуля, т. е. конец всего существующего, представлялось с физической стороны совершенно неизбежным. Правда, против этой цепи умозаключений было сделано вполне обоснованное возражение, что в данном случае она применена к бесконечно большому числу членов и поэтому она заходит за пределы нашего познания. Однако ввиду того, что наша *солнечная система* представляет собою во вселенной до известной степени замкнутую систему с точки зрения превращения энергии, то выводы новой теории теплоты пытались применить к ней — с тем, чтобы определить скорость выравнивания в ней энергии или, к чему в большинстве случаев эта проблема сводилась, чтобы показать, что эта скорость не столь велика. Так как, несомненно, все процессы в солнечной системе имеют своим источником разности теплоты между солнцем и планетами и, конечно, должны иссякнуть после уничтожения этих разностей, то вся проблема сводилась к вопросу, *каким образом сохраняется деятельная энергия солнца*, несмотря на постоянную потерю им теплоты.

По Гершелю солнце излучает ежечасно 18 000 000 тепловых единиц на каждый квадратный фут своей поверхности, и, тем не менее, никогда еще не удавалось подметить ослабления солнечной теплоты. Для возмещения такой потери тепла следовало бы каждые 36 час. сжигать на солнце массу угля величиною в нашу землю. Если бы само солнце состояло из угля, то сгорание его могло бы покрыть тепловые потери вследствие излучения только в течение примерно 5000 лет. Отсюда следует, что солнце нельзя себе представлять в виде сгорающего тела. Мысль Роберта Майера, высказанная им в 1848 г. в его «Динамике неба», что потери солнечной энергии восполняются ударами падающих на солнце метеорных масс, была уже изложена раньше. Вскоре затем Уотерсон и Томсон более подробно развили эту теорию. Согласно Уотерсону железный аэролит, упавший на солнце с очень большого расстояния, должен был бы при падении нагреться на $1\,800\,000\,000^{\circ}\text{F}$ ¹. По У. Томсону² падение на солнце Меркурия покрыло бы его тепловые потери за 6 лет 214 дней; падение Венеры — за 83 года 227 дней; нашей земли — за 94 года 303 дня; падение же Юпитера покрыло бы расход солнца за 32 240 лет. Эти числа говорят в пользу данной теории, но против нее возражают, что она для объяснения возмещения всей тепловой потери солнца предполагает наличие повсюду во вселенной такой массы метеоритов, которая не могла бы не повлиять на движения планет и остаться до сих пор незамеченной. Поэтому У. Томсон сделал дополнительное предположение, что метеориты не рассеяны в пространстве равномерно, а находятся лишь вблизи плоскости солнечного экватора, где они и вызывают явления зодиакального света. Но и этого оказалось недостаточно для устранения всех возражений, тем более что согласно теории Майера и Томсона масса солнца след-

¹ „Athenaum“, 1853; „Philosophical Magazine“ (4), XIX, стр. 338, 1860.

² „Edinb. Trans.“, XXI, стр. 57 и 63, 1857 (доложено в 1854 г.).

СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА 321

ствие падения метеоритов должна была бы увеличиваться, а между тем этого никто не замечал. Новая гипотеза, удачно дополняющая предшествующую, была предложена около этого же времени в популярной лекции Гельмгольцем ¹. Если согласно гипотезе Лапласа солнце, как и вся его система, образовалась в результате сжатия туманного пятна и если это сжатие продолжается до сих пор, то все частицы солнца продолжают падать к центру, живая сила их движения превращается в теплоту и, таким образом, возмещает потери, которые солнце несет вследствие излучения. Приняв удельную теплоту туманной материи равной удельной теплоте воды, Гельмгольц вычислил повышение температуры этого светила, соответствующее уплотнению первичной туманной массы до объема нынешнего солнца, и нашел, что это повышение составляет 28 611 000°; кроме того, он показал, что сжатия солнца на $\frac{1}{10\,000}$ его нынешнего диаметра было бы достаточно для покрытия его тепловых потерь более чем за 2000 лет.

В новейшее время К. В. Сименс выступил со следующим возражением против этой теории. Если даже допустить, что при сжатии всей массы солнца действительно развивается такое количество тепла, то едва ли можно допустить, чтобы все оно могло достигнуть поверхности солнца с такою скоростью, которая была бы достаточно для полного покрытия его тепловых потерь. На этом основании он придумал собственную теорию, основанную, главным образом, на возможности обратного получения солнцем из мирового пространства излученной им теплоты ². Из всего количества излучаемой солнцем теплоты наша земля получает лишь одну 2250-миллионную долю, соответственно части небесной сферы, занимаемой землей, если на нее смотреть с солнца. Если, далее, принять (и это будет скорее много, чем мало), что количество тепла, падающего на другие планеты и планетоиды системы, увеличивает эту долю в 10 раз, то все-таки $\frac{224\,999\,999}{225\,000\,000}$ долей всей солнечной теплоты теряются в мировом пространстве бесполезно; другими словами, из энергии, излучаемой солнцем, примерно 200 млн. частей тратится зря и только одна часть применяется с пользой. Следует признать, что такая *расточительность* природы представляется просто неправдоподобной, поэтому всякая попытка снять с нее этот упрек не может не встретить нашего сочувствия. Для этого Сименс допускает, что *мировое пространство не пусто, а сплошь заполнено газами*, в пользу чего говорит и динамическая теория газов. Каждое небесное светило путем притяжения создает вокруг себя из этого вещества *атмосферу*, которая в *нижних слоях*, как и у нас на земле, состоит из *более тяжелых газов, азота, кислорода и угольной кислоты*, а в *самых верхних слоях* — преимущественно из *наилегчайшего газа, горючего водорода*. В пользу этого определенно говорит состав газа в падающих на землю *мете-*

¹ „Vorträge und Reden“, стр. 46 и 75. Braunschweig 1884; в лекции „Über «die Wechselwirkung der Naturkräfte»“, прочитанной 7 февраля 1854 г.

² „Über die Erhaltung der Sonnenenergie“. Eine Sammlung von Schriften und Discussionen von Sir Will. Siemens, перевод С. Е. Worms Berlin 1885. Первая статья датирована 1882 годом — Karl Wilhelm Siemens (1823—1883) — физик и инженер, руководитель Лондонского отдела фирмы Сименс и Гальске.

322 ТЕОРИЯ СИМЕНСА

оритах. Так, например, согласно работе, представленной Фляйтом Лондонскому королевскому обществу, содержание газа в *метеорных камнях* оказалось по своему объему в 6 раз больше объема самих камней, причем газ заключал в себе 17,66% азота, 31,88% окиси углерода, 0,12% угольной кислоты, 4,55% углеводорода и 45,79% водорода ¹. Если представить себе огромный *шар солнца* вращающимся в пространстве, наполненном такими веществами, то с его *экваториальных областей* вследствие *центробежной силы* будут выбрасываться в пространство громадные массы газов, а взамен их из того же пространства *через полюсы* будут *притекать* новые потоки газа. Последние, состоя преимущественно из *горючих газов*, будут сгорать на солнце, возмещать своею *теплотою сгорания* его тепловые потери и затем снова выбрасываться с экватора в пространство. При этом, конечно, все горючие газы небесного пространства должны были бы быть использованы и должны были бы уступить свое место продуктам сгорания, в результате чего источники солнечной теплоты должны были бы иссякнуть. Однако можно показать, что само солнце может снова восстановить эти продукты сгорания. Согласно Бунзену и Сен-Клер-Девиллю *разложение химических соединений* зависит не только от *температуры* (при высоких температурах соединения разлагаются), но также и от *давления*. По мнению Сименса ему удалось доказать на опыте, что в *круковских трубках* (при разрежении газа до $\frac{1}{1800}$ ат) *водяной пар* разлагается под действием *солнечных лучей* ² на свои составные части, *водород и кислород*. Следовательно, выброшенные солнцем продукты горения, попадая в области небесного пространства с чрезвычайно низким давлением, здесь разлагаются солнечными лучами на горючие вещества и затем, возвращаясь к солнцу, полностью возмещают излученную им энергию. Таким образом, в конечном счете, солнце безвозвратно теряет лишь ту часть излучаемой им энергии, которая поглощается планетами; но эта часть крайне ничтожна, она составляет лишь одну 200-миллионную долю всей той энергии, которую солнце излучает каждое мгновение ³ и которую мы до сих пор считали целиком потерянной.

Приведенные выше теории сохранения солнечной энергии не противоречат друг другу, не заключают в себе ничего невероятного и могут существовать рядом. В настоящий момент наиболее *действительной* из них является, пожалуй, теория Сименса, но наиболее широкой по своему охвату является, без сомнения, теория Майера, так как она соединяет нашу систему с остальными частями *вселенной* и обещает сохранение солнечной системы вплоть до всеобщего конца, т. е. до выравнивания всех видов энергии во всей вселенной.

¹ По Геггинсу спектральный анализ показывает, что ядро комет содержит почти те же газы („Erhaltung der Sonnenenergie", стр. 12).

² „Erhaltung der Sonnenenergie", стр. 17.

³ На многочисленные возражения против этой теории, и, прежде всего против предположения, что вселенная заполнена легким газом и что солнечный свет диссоциирует водяной пар и угольную кислоту при низких температурах, Сименс отвечает в ряде статей, помещенных в его книге, содержание которых, однако, мы здесь лишены возможности изложить.

С гипотезой Гельмгольца совпали применения механической теории тепла к космическим проблемам, сделанные А. Риттером в начале восьмидесятых годов ¹, и наметившие возможную связь между теориями Гельмгольца и Майера, Риттер, во-первых, показал, что, согласно новой теории теплоты, и *газовый шар может существовать как нечто обособленное, как небесное тело*, если только его состояние является *адиабатическим*, или, по крайней мере, приближается к последнему, т. е. если температура и плотность этого газового шара с удалением от центра изменяются по тому же закону, по которому они изменяются в восходящей и нисходящей массе газа, не получающей при своем движении теплоты извне и не отдающей ее наружу. *Для такого шара охлаждение при всяком излучении теплоты не является обязательным, так как теплота, образующаяся при сокращении этого шара, могла бы не только покрыть его потери при излучении, но еще и повысить его температуру.* Тогда в течение подобного процесса охлаждение вообще никогда бы не наступило; наоборот, сокращение газового шара до объема точки сопровождалось бы непрерывным повышением его температуры до бесконечности. Для того чтобы приблизиться к возможному процессу образования мировых систем, представим себе, что внутренняя теплота подобного газового шара, находящегося в таком равновесном состоянии, внезапно увеличивается, например, вследствие столкновения с другими массами; тогда в шаре должен начаться процесс расширения. Этот процесс должен будет постепенно замедляться, но в силу инерции объем все-таки зайдет за те пределы, при которых силы тяготения и расширения взаимно друг друга уравнивают. Когда процесс расширения окончательно прекратится, силы тяготения получат перевес и тогда в шаре начнется процесс сокращения. В течение последнего, вследствие выделения теплоты, расширительные силы снова начнут увеличиваться и постепенно прекратят процесс сокращения. Но и последнее наступит только тогда, когда шар в своем сжатии перейдет нижний объемный предел своего равновесия, следовательно, после этого шар снова должен будет начать расширяться. Таким образом, рассматриваемый газовый шар будет непрерывно испытывать колебания своего объема и температуры около некоторого положения равновесия, хотя извне на него не будет действовать никаких сил и, несмотря на то, что шар будет постоянно излучать теплоту. Такими периодическими изменениями температуры, вызываемыми изменениями объема, Риттер очень удачно объясняет существование *переменных звезд*. Больше того, по мнению Риттера, все *небесные тела*, за немногими исключениями, принадлежат к классу таких звезд, но только у большинства из них колебания температуры либо очень незначительны, либо протекают очень медленно. Исключение составляют, быть может, лишь некоторые *туманные пятна*, у которых первичная расширяющая сила теплоты настолько велика, что она уже не может быть

¹ „Wied. Ann.“, V, стр. 405; X, стр. 13; XI, стр. 978; XII, стр. 445; XIII стр. 360; XIV, стр. 16; XVI, стр. 166; XVII, стр. 322; XVIII, стр. 488; XX, стр. 137 и 897; „Untersuchungen über die Höhe der Atmosphäre und die Constitution gasförmiger Weltkörper.“

324 СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

уравновешена тяготением, и вещество, постоянно расширяясь, все больше *рассеивается в пространстве*¹. Смелость, с которой Риттер применяет математический анализ к физическим проблемам мира, не могла не произвести импонирующего впечатления; правда, по поводу этих работ было не без основания указано, что подобное применение математического анализа *скорее интересно, чем надежно*. Предположение, что физические законы, например законы Мариотта и Гэ-Люссака, сохраняют свою силу при условиях температуры и давления, далеко выходящих за пределы наших наблюдений, во всяком случае, столь же ненадежно, как применение наших опытов к пространствам и временам, лежащим далеко за пределами наших представлений. *То же самое, в большей или меньшей степени, можно сказать и о приведенных выше гипотезах по вопросу о будущности вселенной. Но возможно, что эти работы представляют собой зачатки будущей физической науки, которая выйдет за пределы земли и действительно охватит всю вселенную.* Как раз описываемое ниже физическое открытие сделало превзошедший все ожидания важный шаг именно в этом направлении.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ СВЕТОВЫМ ЭФИРОМ И ВЕСОВЫМИ МОЛЕКУЛАМИ (приблизительно от 1859 до 1880 г.).

Кинетическая теория газов, в связи с механической теорией теплоты, принесла поразительно богатые плоды и все более превращалась в механику молекул. Благодаря этому газообразное состояние материи легче всего поддавалось как физическому, так и математическому анализу. Это же свойство газообразное состояние одновременно проявило и в другой области и по той же самой причине, что и раньше, а именно — благодаря своей независимости от действия молекулярных сил. Выше было уже отмечено, что волновая теория света задерживалась в своем победоносном развитии всякий раз, когда ставился вопрос о *переходе движений с эфира на части весомой материи и обратно*. Поглощение света молекулами тел было всегда помехой для математической разработки этих вопросов, и физики оставались в полном неведении о зависимости излучаемого света от атомного и молекулярного строения тел. Эту-то загадку и разрешило, по крайней мере, частично, открытие спектрального анализа Кирхгофом и Бунзенем. Однако и здесь, как и в других случаях, законы явлений могли быть ясно и твердо установлены только для *газообразного состояния материи*.

Что касается истории открытия этого явления, то следует отметить, что и до Кирхгофа было сделано много наблюдений над призматиче-

¹ Риттер вычислил, что если бы солнце представляло собою адиабатический газовый шар, то каждый килограмм его массы contained бы от 19 до 66 млн. кал. и годовому излучению соответствовало бы сокращение его диаметра на 72—114 м. Что касается *атмосферы луны*, то Риттер находит, что на изолированном и покоящемся в небесном пространстве теле, имеющем размеры и массу луны, атмосфера из водяного пара могла бы длительно существовать лишь при температуре минус 50° С на его поверхности. При движении же луны, если бы она даже состояла из ледяного шара с температурой на поверхности —60°, она должна была бы превратиться в кольцо пара, вращающееся вокруг земли.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 325

скими и дифракционными спектрами. Эти многократные и усердные наблюдения имели своей целью преимущественно фактическую сторону дела; связи между световыми явлениями и структурой тел, излучающих свет, они касались лишь мимоходом, считая, что эта проблема представляет второстепенный интерес. *Напротив, Кирхгоф и Бунзен, не открывая никаких новых явлений (по крайней мере, вначале), выяснили связь между явлениями, установили закон, лежащий в основе всего разнообразия последних, и этим, обратно, столь благотворно повлияли на опытную физику, что новыми явлениями стали заниматься уже не только отдельные работники, и не одни только физики, но также и химики, и астрономы, обогащая науку поразительными результатами.* Указанное обстоятельство не только неопровержимо свидетельствует о том, что заслуга *действительного открытия и действительного завоевания* этой новой области науки принадлежит только Кирхгофу и Бунзену, но также еще раз показывает, что истинный прогресс науки достигается не простым описанием фактов и связанным с ним разобщением научных дисциплин, а установлением причинной связи между явлениями и объединением различных отраслей науки ¹.

Первое сообщение об открытии, сделанном им совместно с Бунзеном, Кирхгоф изложил в небольшой статье, содержащей всего две страницы в восьмую долю листа, помещенной в «Monatsber. der Akad.

¹ Что центр тяжести нового открытия заключался в выяснении связи между темными и светлыми линиями спектра, признал и У. Томсон в следующих словах, с которыми он обратился к Кирхгофу вслед за первым опубликованием открытия Кирхгофа и Бунзена: „Проф. Стокс сообщил мне лет десять тому назад в Кембридже, что проф. Миллер произвел опыт, доказывающий с высокой степенью точности совпадение двойной темной линии *D* солнечного спектра с двойною светлой линией спектра спиртового пламени, горящего с примесью поваренной соли (см. выше стр. 145). Я заметил, что должна существовать какая-то физическая связь между действиями, представляющими столь ясно выраженную общность. Он согласился с этим и указал, что, по его мнению, механическое объяснение этого факта может быть построено на следующих положениях; пары натрия должны обладать, по своему молекулярному строению, способностью колебаться в периоды, соответствующие степени преломляемости двойной линии *D*... С другой стороны, пары натрия в атмосфере, окружающей источник света, должны обладать большой способностью задерживать, т. е. поглощать, повышая свою температуру, свет из источника совершенно того же качества... Я не уверен, было ли это механическое объяснение опубликовано проф. Стоксом когда-нибудь в печати. В своих лекциях я в течение ряда лет постоянно приводил его, указывая вместе с тем, что химия солнца и звезд должна изучаться путем исследования тех земных веществ, которые в спектрах искусственного пламени дают светлые линии, соответствующие темным линиям спектров солнца и звезд" (Kirchhoff, „Gesamm. Abhandl.", стр. 640, Leipzig 1882). Но если Тэт, приводя впоследствии это заявление Томсона („Vorlesungen über einige neuere Fortschritte", Braunschweig 1877, стр. 159), заявляет: „Это было рождение спектрального анализа, поскольку речь идет о применении его к небесным телам", то на это можно возразить, что подобное утверждение противоречит принятому в науке и совершенно справедливому обычаю приписывать открытие тому лицу, которое впервые довело его до известной степени зрелости и его опубликовало. А если, кроме того, верны и дальнейшие слова Тэта: „Ни Стокс, ни Томсон, по-видимому, в 1850 г. совершенно не подозревали, что они натолкнулись на нечто новое", то выходило бы, что оба этих *гениальных* исследователя в 1850 г. еще не оценили значения, а следовательно, и сущности этого открытия.

der Wissenschaft. zu Berlin» за октябрь 1859 г. (стр. 662) под заглавием: «Über die Fraunhoferschen Linien» («О фраунгоферовых линиях») ¹. Так как это сообщение в сжатом виде уже содержит в себе все последующее, то мы приведем его дословно, сделавши только два пропуска: «Во время совместного с Бунзеном исследования спектров окрашенных пламен, давшего нам возможность узнавать качественный состав сложных смесей по внешнему виду их спектров в пламени паяльной трубки, я произвел несколько наблюдений, которые приводят к неожиданному заключению о происхождении фраунгоферовых линий и дают возможность судить о материальном составе атмосферы солнца, а может быть, и наиболее светлых неподвижных звезд. Фраунгофер заметил, что в спектре пламени свечи имеются две светлые линии, совпадающие с двумя темными линиями *D* солнечного спектра. Эти же светлые линии можно получить в более ярком виде, если в пламя ввести поваренную соль. Я получил солнечный спектр, но при этом солнечные лучи, раньше, чем они попадали в щель, я пропустил через сильное пламя с поваренной солью. Когда солнечный свет был достаточно ослаблен, то на месте двух темных линий *D* появлялись две светлые; но когда интенсивность солнечного света переходила известную границу, темные линии *D* выступали в спектре гораздо отчетливее, чем при отсутствии пламени поваренной соли». Описав затем два подобных же опыта, Кирхгоф продолжает:

«Из этих наблюдений я заключаю, что *цветные пламена, в спектрах которых встречаются светлые резкие линии известного цвета, до такой степени ослабляют проходящие через них лучи того же цвета, что на месте светлых линий выступают темные, как только позади пламени ставят достаточно сильный источник света, в спектре которого эти линии отсутствуют.* Далее, я заключаю, что темные линии солнечного спектра, которые вызываются не земной атмосферой, возникают вследствие присутствия в раскаленной атмосфере солнца таких веществ, которые в спектре пламени дают на том же месте светлые линии. Можно считать, что светлые линии в спектре пламени, совпадающие с линиями *D*, всегда происходят вследствие присутствия в нем натрия; поэтому темные линии *D* в солнечном спектре заставляют думать, что в атмосфере солнца имеется натрий» ... «Ввиду этого исследование спектров цветных пламен приобретает новый большой интерес; мы с Бунзеном будем его продолжать, насколько это нам позволят наши средства. При этом мы подробнее исследуем наблюдаемое мною ослабление лучей света при прохождении их через пламя. При опытах, произведенных нами в этом направлении, уже выявился один факт, который нам представляется

¹ Также в его „Gesamm. Abhandl.“ стр. 564) и в „Pogg. Ann.“, CIX стр. 148. Этому исследованию в области оптики предшествовала лишь одна работа Кирхгофа „Über den Winkel der optischen Achsen des Aragonits für die verschiedenen Fraunhofer'schen Linien“(„Pogg. Ann.“, CVIII. стр. 567). В ней нет еще и намека на мысль о спектральном анализе, но зато имеется описание *прибора* для определения осевых углов для различных фраунгоферовых линий, который, можно думать, привел к идее устройства прибора для спектрального анализа.

ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА И ТЕПЛОТЫ 327

очень важным. Для того чтобы в друммондовом свете линии D оказались темными, требуется пламя поваренной соли более низкой температуры. Для этой цели годится пламя водного алкоголя, пламя же бунзеновской горелки для этого непригодно. В пламени последней малейшее количество поваренной соли, едва заметное на глаз, уже дает светлые линии натрия. Мы оставляем за собой исследование и изложение выводов, которые могут быть сделаны из этого явления».

Ближайшие затем работы Кирхгофа пошли именно в этом направлении. Уже в декабре 1859 г. он опубликовал новую небольшую статью «Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme» («О связи между излучением и поглощением света и теплоты») ¹, в которой он установил общее положение, «что для лучей одной и той же длины волны, при одной и той же температуре, отношение лучеиспускательной способности к поглощательной для всех тел одинаково». Для доказательства этого положения он допускает, что возможно, по крайней мере, одно тело, которое испускает только лучи какой-нибудь *одной* определенной длины волны и которое *поглощает* лучи только той же самой длины волны, и что возможны такие *зеркала*, которые полностью отражают все падающие на них лучи.

Если, далее, представить себе пластинку из вещества, обладающего указанным выше свойством, поставленную против другой пластинки, которая излучает и поглощает всевозможные лучи, и если представить себе, что задние поверхности этих пластинок являются идеальными зеркалами, то из равенства излучения и поглощения, при установившемся равновесии температуры для обеих пластинок, можно легко вывести постоянство отношения между лучеиспускательной и поглощательной способностью при одной и той же температуре у указанных двух пластинок, а также у всех тел вообще. В более подробной работе 1861 г. Кирхгоф обосновал это положение более детально и строго, не прибегая к упомянутому выше допущению о возможности тела, которое излучало бы и поглощало только один вид лучей ².

Это положение, которое дало возможность применить спектральный анализ к изучению химического состава солнца и звезд, представлялось Кирхгофу и Бунзену, особенно важным и выдвигалось ими на первый план. Другое же положение, на котором, в сущности, и основывалось применение данного открытия для анализа, а именно, *положение об исключительной зависимости спектров от излучающих свет элементов* ими вначале меньше подчеркивалось, они его рассматривали скорее как нечто совершенно очевидное. Однако уже в апреле 1860 г. они дали также экспериментальное обоснование этого положения в совместной своей работе: «Chemische Analyse durch Spectralbetrachtungen» («Химический анализ с помощью спектральных наблюде-

¹ „Monatsber. d. Berl. Akad.", стр. 783, декабрь 1859; „Gesamm. Abh.", стр. 560.

² „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente", „Abhandl. d. Berl. Akad.", 1861; см. статью: „Über das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht" в „Gesammelte Abhandlungen", стр. 571.

328 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕЛ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ

ний»)¹. Они исследовали спектры водных окисей, бромистых и йодистых соединений, серно - и углекислых солей калия, натрия, лития, бария, стронция и кальция в пламени серы (1820° С), сернистого углерода (2195° С), светильного газа (2350° С), окиси углерода (3042° С), водорода (3259° С) или гремучего газа (3061° С) и в результате этих обширных и продолжительных наблюдений пришли к надежному выводу, «что ни различие форм соединений, в которых применены металлы, ни разнообразие химических процессов в отдельных пламенах, ни громадное различие температур этих пламен *нисколько не влияют на положение спектральных линий, соответствующих отдельным металлам*». К такому же выводу привели их и наблюдения явлений в гейсслеровских трубках при пропускании искр через электроды из калия, натрия, лития, стронция и кальция. Сравнивая их спектры со спектрами поставленных позади них пламен соответствующих металлов, они убедились, что даже в блестящих спектрах электрических искр нет никакого смещения линий, наблюдаемых ими в пламенах; если же при этом и получались какие-либо посторонние линии, то они должны были происходить от примеси посторонних металлов и от азота, находившегося в гейсслеровских трубках. Поэтому авторы с полным основанием сочли научно твердо установленным, *что светлые линии в спектре можно считать надежным признаком присутствия соответствующих металлов*, и затем перешли к описанию отдельных спектров, а также к более детальному выяснению преимуществ этого нового химико-аналитического метода. Возможность *космического применения* открытого ими анализа была здесь выражена еще более ясно, чем раньше, так как помимо прежнего обращения линии натрия им легко удалось показать также обращение светлых линий калия, стронция, кальция и бария.

Лучшим доказательством оригинальности и важности открытия Кирхгофа и Бунзена явилась поразительно *быстрая и огромная его плодотворность*. Уже в упомянутой только что работе 1860 г. они сообщили, что при помощи нового метода им удалось бесспорно доказать *существование* в щелочной группе калия, натрия и лития еще *четвертого металла*. Вслед за тем этот новый металл, под названием *цезия*, был подробно описан Бунзеном. В следующем году Бунзен нашел *пятый металл той же группы, рубидий*, а год спустя У. Крукс² открыл в сернистом осадке, на фабрике серной кислоты в Тилькенроде, новый элемент *таллий*, в котором Лами³ признал новый тяжелый металл. Наконец, в 1862 г. Рейх и Рихтер⁴ нашли новый металл, *индий*, близкий к *алюминию*, а позднее, при помощи того же спектрального способа, был найден ряд новых элементов.

После этого Кирхгоф и Бунзен занялись *усовершенствованием своих приборов и применением их к изучению космических явлений*.

¹ „Pogg. Ann.", CX, стр. 161; „Gesamm. Abhandl.", стр. 598. К статье были приложены изображения спектрального прибора (еще без масштаба), равно как спектров солнечного света и металлов калия, натрия, лития, стронция, кальция, и бария.

² „Philosophical Magazine" (4) XXI, стр. 301, 1861.

³ „Comptes rendus", LIV, стр. 1255, 1862.

⁴ „Erdman's Journ. f. pract. Chem.", LXXXIX, стр. 441; XC, стр. 172.

В 1861 г.¹ они прибавили к своему спектро스코пу *третью трубку со шкалой* в конце ее — для более точного определения положений линий, и описали устройство *отражательной призмы*, с помощью которой под спектром исследуемого вещества может быть для сравнения получен спектр нормального источника света. По поводу того обстоятельства, что различные химические соединения одного и того же металла всегда дают одни и те же линии, они высказали два очень важных предположения: *либо линии совершенно не зависят от элементов, химически связанных с металлами, либо эти соединения при высокой температуре распадаются* и тогда спектры металлов берут перевес. Кирхгоф и Бунзен склонялись больше в сторону *последнего* предположения, которое, между прочим, подкреплялось тем фактом, что линии поглощения, которые были видны в парах йода, в парах йодистого калия отсутствовали. Для получения спектра возможно большей длины Кирхгоф устроил спектроскоп из *четырех флинтгласовых призм*² и применил его, прежде всего для *детального изучения солнечного спектра*. Этим путем он установил, что в *атмосфере солнца* в большом количестве содержатся только *железо, кальций, магний, натрий и хром*, в меньшем — *золото, серебро, ртуть, алюминий и кадмий*; по-видимому, совершенно отсутствуют свинец, мышьяк, сурьма, стронций, литий и кремний. На основании этих данных Кирхгоф пришел к заключению, что солнце состоит из *раскаленной жидкой массы*, окруженной *атмосферой паров*. *Солнечные пятна* представляют собой *облака* или *шлаки*, большая изменчивость которых объясняется *течениями в солнечной атмосфере*³. Вслед за опубликованием первой статьи Бунзена и Кирхгофа работы по спектральному анализу стали появляться в таком множестве, что уже за годы 1860 и 1861 одни лишь работы известных физиков можно насчитать десятками. При этом в круг исследований был введен новый элемент, которого Кирхгоф и Бунзен почти не коснулись, — *аналогия с акустическими явлениями*. Уже в 1860 г.⁴ Стокс назвал закон Кирхгофа *оптическим резонансом*, а в 1862 г. Ангстрем⁵ с большой настойчивостью заявил, что уже в 1853 г. он высказал мысль, что в силу резонанса частицы тел поглощают преимущественно те волнообразные колебания эфира, которые в них самих легче всего возникают под действием молекулярных сил. Но применение акустических аналогий нашло себе место не только при объяснении обращения светлых

¹ „Pogg. Ann.", CXIII, стр. 337, 1861.

² Кук („Chemical News", 1863 г.) снабдил свой спектральный аппарат девятью призмами с сероуглеродом и таким путем нашел, что в солнечном спектре имеется бесчисленное множество линий, „как звезд на небе".

³ Этой работой „Untersuchung über das Sonnenspectrum und die Spectren d. chem. Elemente" („Berl. Abhandl." 1861; также отдельное издание F. Dümmler'a, Berlin 1862) заканчивается ряд основных работ Кирхгофа по спектральному анализу. Дальнейшие работы в „Abhandl. d. Berl. Akad." 1862 г. посвящены, главным образом, опытам, имеющим целью подтверждение изложенных раньше теоретических положений.

⁴ „Phil. Mag." (4). XIX, стр. 193, 1860.

⁵ „Pogg. Ann.", CXVII, стр. 290. Выше мы уже показали, что тогдашний взгляд Ангстрема на оптический резонанс был еще далеко не правилен. — Anders Jans Angström (1814—1874) — профессор физики в Упсале.

330 СПЕКТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРЯДКОВ

спектральных линий, но и при объяснении возникновения этих линий в результате *внутренних движений* светящихся тел. Хотя благодаря этому спектральный анализ получил, с одной стороны, новое наглядное обоснование, но с другой, — благодаря тому, что законы его были сведены к движениям мельчайших частиц тела, — он был вовлечен во все трудности молекулярной теории и вместе с последней попал в область неразгаданного.

Если какому-либо телу, например натянутой струне, металлическому язычку или же столбу воздуха в духовом инструменте сообщить звуковые колебания, то скорость последних, а, следовательно, и высота тона не зависят от силы толчка, а зависят только от размеров, тяжести и т. д. самого звучащего тела. Точно так же и скорость тех световых колебаний, которые могут быть у данного вещества, а, следовательно, и цвет испускаемого им света зависят только от величины и напряжения его молекул или атомов. Но так как атомы всех химических элементов имеют различный вес, то каждый элемент в раскаленном состоянии должен испускать особый вид световых колебаний, т. е. одноцветный однородный свет, который в спектре дает определенную линию. Однако эти колебания, соответствующие тяжести и пр. могут возникнуть в атомах лишь в том случае, когда они совершенно свободны, т. е. когда они не находятся в соединении с другими атомами, или, другими словами, когда они находятся в газообразном состоянии. *Следовательно, только раскаленные газы могут давать однородный свет, или спектр, состоящий из отдельных линий, линейный спектр.* Что касается жидкостей и твердых тел, где атомы различным образом связаны друг с другом силами сцепления, то здесь свойственные атомам колебания под влиянием этих связей замедляются или же ускоряются, и тогда вместо одного вида колебаний получаются всевозможные цветные тона. *Следовательно, для спектрального анализа тела следует применять только в газообразном состоянии.* Но к этому присоединяется еще ряд других моментов. Легко понять, что *атомам химических элементов* должны быть присущи иные цветные тона, чем *более тяжелым молекулам их соединений*. Хотя при высокой температуре пламени большинство химических соединений и разлагается на элементы, так что обыкновенно в спектрах получаются линии, характерные для элементов, но есть и такие огнеустойчивые соединения, которые противостоят действию обычных пламен, и тогда получают спектры соединений, а не элементов. Все такие соединения требуют предварительного изучения их спектров, и только после этого станет возможным правильное применение спектрального анализа ¹. Далее, яркость свечения различных тел в раскаленном состоянии неодинакова. Металлы стоят в этом отношении в большинстве случаев на первом

¹ Так как в звездах, при наличии там высоких температур, можно допустить, как правило, разложение всех соединений, то *космическое применение спектрального анализа можно считать независимым от исследования весьма многочисленных, быть может, спектров соединений* и здесь можно скорее ожидать правильных выводов, чем при исследовании земных тел, как это и оправдалось на деле. Но зато при анализе состава небесных тел должно сказаться в сильной степени влияние на характер спектра температуры и давления.

СПЕКТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРЯДКОВ 331

месте, металлоиды отступают на второй план, но особенно слабый свет излучают даже в раскаленном состоянии газообразные элементы, как это уже видно из обращения светлых линий тел в газовых атмосферах. Спектры газов можно наблюдать почти исключительно в *гейсслеровских трубках*, пропуская через них электрические искры. Но при этом, конечно, *давление и температура* опять-таки оказывают значительное влияние на спектры. Сильное давление, сближая молекулы, ограничивает свободу их колебаний и, присоединяя к световым тонам, обычно свойственным молекулам, в первую очередь ближайшие тона, расширяет линии спектра в более или менее обширные полосы; в результате этого *линейный спектр превращается в полосатый*. Аналогичным образом действуют и *температурные изменения*. Но как далеко могут при этом зайти изменения спектров, влияет ли температура только на ширину линий или же она изменяет весь вид спектра, — эти вопросы оказались очень трудными для разрешения.

Уже в начале 1859 г. Плюкер ¹ описал спектры разреженных газов в гейсслеровских трубках, а в 1862 г. ² он отметил, что *от одного и того же вещества* можно получить спектры различного вида и что поэтому, раньше, чем ставить вопрос о надежности спектрального анализа, следует установить зависимость спектров от температуры. Затем на основании более обширной работы, произведенной совместно с Гитторфом, он же указал ³, что для *водорода, азота, паров серы* и некоторых других газов можно по желанию получить два вида спектров: один слабый, *сплошной, с затененными участками*, другой — состоящий из ряда *светлых линий* с темными промежутками. Первый вид спектров, получающийся в гейсслеровских трубках при *слабом давлении* от тока небольшой катушки Румкорфа, Плюкер назвал *спектрами первого порядка*; второй вид, легко получающийся при включении лейденской банки в цепь тока, он назвал *спектрами второго порядка*. Так как включение лейденской банки дает лишь кратковременное прохождение через трубку значительных зарядов электричества, следовало полагать, что причиной превращения спектров первого порядка в спектры второго является возникающая при этом *высокая температура*.

За Плюкером последовал Вюльнер. В 1866 г. он случайно заметил, что для водорода, кроме линейного и полосатого спектров (этими терминами он удачно заменил спектры 1-го и 2-го порядка Плюкера) существует еще *третий* вид спектра. Затем в более обстоятельной работе 1868 г. ⁴ он подробно сообщил об изменении спектров водорода, кислорода и азота в гейсслеровских трубках с *изменением давления*. Оказалось, что давление вызывает такие же изменения, как включение в цепь лейденской банки. Так, постепенно выкачивая газ

¹ „Pogg. Ann.“, CVII, стр. 497 и 638.

² „Cosmos“, XXI, стр. 283 и 312, 1862. Обзор в „Die Fortschritte der Physik im Jahre 1862“.

³ „Phil. Trans.“, стр. 1, 1865. — W. Hittorf (родился в 1824) — профессор физики в Мюнстере.

⁴ „Pogg. Ann.“. CXXXV, стр. 497; CXXXVII, стр. 337.— Ad. Wüllner — профессор физики в Аахенской политехнической школе.

при помощи шпренгелевского насоса из гейсслеровской трубки ¹, наполненной водородом и снабженной двумя платиновыми электродами, впаянными на расстоянии 1,4 дюйм. друг от друга, — он наблюдал, что ток начинал проходить при 135 мм давления; при 70 мм был уже ясно виден *сплошной спектр*; при 30 мм он был виден наиболее ясно, затем он начинал ослабевать, причем одновременно выступали *три светлые линии линейного спектра*; между 3—2 мм давления сплошной спектр совершенно исчезал, указанные же линии сохраняли свою яркость. При дальнейшем понижении давления и они тускнели; под конец же вновь становилась видной *часть сплошного спектра*, а именно, зеленая его часть. Однако эти изменения Вюльнер не приписал непосредственно давлению, он объяснил их связанным с давлением изменением электрического сопротивления и *изменением температуры* электрического разряда. По его словам ² «эти наблюдения показывают, что описанный (сплошной) спектр водорода действительно соответствует более низкой температуре, чем спектр, состоящий из трех светлых линий, так как с увеличением плотности газа в спектральной трубке температура в ней должна понизиться, ибо сопротивление индукционному току с увеличением плотности газа возрастает, и масса нагреваемого газа увеличивается. Но подобно тому как большая плотность газа мешает полному проявлению действия тока, так и очень сильное разрежение газа ослабляет его, ибо при достаточно большом разрежении ток в спектральной трубке может совершенно прекратиться. Следовательно, тот факт, что сплошной спектр появляется как при относительно высоких давлениях, так и при очень больших разрежениях, доказывает, что этот спектр требует сравнительно низких температур».

Утверждение о существовании различных по виду спектров у одного и того же элемента вызвало много возражений. Особенно резко выступил против Вюльнера Ангстрем. Уже в своих «Исследованиях над солнечным спектром» 1868 г. ³ он высказался против возможности существования различных видов спектров. Он допускал, что спектры могут видоизменяться, что с повышением температуры могут выступить новые линии и может измениться их яркость, что при прерывистых разрядах и с повышением напряжения в гейсслеровских трубках линии могут расширяться в полосы и линейные спектры могут перейти в сплошные, но он утверждал, что, *тем не менее, из спектра одного вида никогда не может получиться спектр совершенно иного характера*. Три года спустя ⁴ он объяснил причину появления различных видов спектров, главным образом, ненадежностью условий наблюдения, когда разрежение газа доводится до крайних пределов. Так, при сильнейшем разрежении атмосферного воздуха в гейсслеровской

¹ При всех этих опытах трубки были посредине вытянуты в капилляры.

² „Pogg. Ann.", CXXXV, стр. 506.

³ „Recherches sur le Spectre Solaire", Upsala 1868 (и Берлин 1869). К этой работе приложено изображение солнечного спектра длиной в 3,387 м, в котором впервые линии определены по длине своей волны. Это изображение было изготовлено при содействии Р. Талена.

⁴ „Comptes rendus", LXXIII, стр. 369, 1871; „Pogg. Ann.", CXLIV, стр. 300.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЮЛЬНЕРА, АНГСТРЕМА И ЦЕЛЛЬНЕРА 333

трубке получились один за другим сначала *обыкновенный спектр воздуха*, затем *полосатый спектр азота*, далее *спектр окиси углерода* и, наконец, даже линии *натрия* и *хлора*. На этом основании он полагал, что в опытах Вюльнера с кислородом, азотом и водородом полученные им результаты имели своим источником *загрязнение* этих газов и пытался показать, что наблюдаемые Вюльнером случаи отступления спектров от линейной формы произошли вследствие примеси *угля, серы* и их соединений. Это побудило Вюльнера продолжить свои исследования, прежде всего именно в этом направлении ¹. И действительно, он нашел, что два из описанных им спектров кислорода, по всей вероятности, обязаны своим происхождением соединениям углерода из жира, примененного им для смазки кранов насоса. Но относительно спектров водорода и азота поводов для подобных сомнений не оказалось. Так как при давлении в 500 мм оба спектра азота зачастую появлялись одновременно или один вслед за другим, то Вюльнер попытался точнее определить ², какое влияние оказывают на спектр *различные виды* электрических разрядов. Для этих опытов он применил трубки без капиллярного сужения посередине, а разряды наблюдал при помощи *вращающегося зеркала*; при этом оказалось, что пока разряд остается непрерывным, всегда получаются полосатые спектры, при первой же проскакивающей искре тотчас же появляются и светлые линии ³; таким образом, связь полосатых спектров с непрерывным разрядом и линейных спектров с искровым разрядом оказалась несомненной. Для объяснения этих явлений Вюльнер воспользовался работой Целльнера о влиянии температуры и плотности на спектры накаливаемых газов. А именно, Целльнер сделал из закона Кирхгофа об отношении между излучением и поглощением общий вывод ⁴, что отношение яркости двух соседних частей спектра зависит от температуры, плотности, коэффициента поглощения, а также *от толщины светящихся слоев*, причем, *чем последние толще*, тем большую тенденцию проявляет спектр к тому, чтобы стать сплошным ⁵. Вот это-то влияние толщины излучающего слоя и обуславливает по Вюльнеру появление различных спектров в гейсслеровских трубках ⁶. При безысковом разряде, распространяющемся в большей или меньшей степени по всей массе газа, свет испускается всегда сравнительно толстым слоем вещества, поэтому в спектре должны встречаться волны всяких длин, которые газ способен излучать при данной темпера-

¹ „Pogg. Ann.", CXLIV, стр. 481, 1871.

² „Pogg. Ann.", CXLVII, стр. 321, 1872.

³ Кундт („Pogg. Ann.", CXXXV, стр. 315, 1868) наблюдал во время молнии как линейные, так и полосатые спектры; первые выступали особенно ясно при зигзагообразных молниях, но иногда обе эти формы быстро следовали друг за другом при одной и той же молнии.

⁴ „Pogg. Ann.", CXLII, стр. 38, 1871.

⁵ Путем повышения давления можно уничтожить различие интенсивности света в соседних частях спектра; наоборот, изменить это отношение *на противоположное* так, чтобы на месте прежнего минимума появился максимум и обратно, можно только путем изменения температуры („Pogg. Ann.", CXLII, стр. 102).

⁶ „Pogg. Ann.", CXLIX, стр. 103, 1873.

туре. Но при относительно слабой интенсивности должны выявляться малейшие различия спектра испускания волн различной длины. При искровых же разрядах всегда светится лишь небольшое число частиц (т. е. очень тонкий слой газа), а именно только те молекулы, на которые непосредственно попадает искровой разряд; поэтому в спектре могут появиться лишь отдельные светлые линии; и лишь тогда, когда температура искры становится чрезвычайно высокой, она может дать и сплошной спектр. Против этого объяснения Ангстрем опять высказался в большой посмертной работе 1875 г., изданной его сотрудником Таленом ¹. В этой работе Ангстрем твердо стоит на той точке зрения, что простое вещество (пока его природа не изменяется) может иметь лишь один спектр и что раскаленный газ может иметь только линейный спектр. Что же касается разнородных спектров, наблюдавшихся на водороде и на других элементарных газах, то все они, за исключением одного для каждого тела, являются *спектрами соединений* или, по крайней мере, *спектрами более сложных молекулярных модификаций*. Он не отрицает возможности различных спектров и для простого вещества, но только в том случае, когда оно существует в различных *аллотропических модификациях*. *Каждая из этих модификаций должна, во всяком случае, иметь свой особый спектр поглощения*; проявляются ли эти различия и в *спектрах пламени*, зависит от того, сколько из этих модификаций выдерживают температуру накаливания без разложения. Так, кислород должен иметь *два различных спектра поглощения*, один — принадлежащий *обыкновенному кислороду*, другой — *озону*; но так как озон при высоких температурах разлагается, то раскаленный кислород имеет лишь один спектр. Что касается различия спектров при различных видах электрических разрядов, то искровой разряд распыляет тела на мельчайшие частицы и разлагает их химически; поэтому при искровом разряде всегда появляется *спектр элемента*, между тем как при постоянном разряде появляются и *спектры соединений*.

Несмотря на то, что оппоненты продолжали твердо настаивать на правильности своих мнений, выяснение данного спорного вопроса все-таки значительно подвинулось вперед и фактически произошло известное сближение противоположных точек зрения. Было признано, что и у элементов возможно изменение спектров и что причины этого изменения следует искать в изменениях температуры, давления, коэффициентов поглощения и молекулярного строения. Расхождение во взглядах оставалось лишь по вопросу об относительном значении каждой из этих причин, но по этому вопросу, по-видимому, и нельзя было ожидать скорого решения. Первой и, пожалуй, наиболее важной из очередных проблем представлялся вопрос о *зависимости спектров от молекулярного строения лучеиспускающих и поглощающих веществ*. Если вид спектра связан со строением молекулы таким образом, что уже аллотропическая модификация вещества вызывает изменение спектра, то можно ожидать, что при наивысшей диссоциации веществ

¹ „Nova Acta Soc. Upsal.“ (3), IX, 1875. Обзор в „Beiblätter zu Pogg. Ann.“, I. стр. 36, 1877.

(под действием высоких температур или больших электрических сил) наряду с *молекулярными спектрами* или после них появятся и *атомные спектры*. Больше того, — если простота спектра зависит от простоты строения молекулы, то можно думать, что *сложный состав спектров, содержащих большое количество линий, указывает на то, что наши так называемые элементы состоят из еще более простых веществ, из которых каждое имеет абсолютно простой спектр, содержащий только одну линию*. Первым пришел к этой мысли и разработал ее Локайер. Еще в 1873 г.¹, сравнивая между собою спектры химических соединений и искусственных смесей, он пришел к выводу, что *каждое сложное тело совершенно так же, как и каждое простое, имеет свой собственный спектр*; что эти спектры состоят преимущественно из полос и что эти полосатые спектры, при более сложном составе соединений, приближаются к сплошным спектрам, а при более простом составе — к линейным. В следующей работе 1874 г.² он занялся подробнее связью между строением тел и спектроскопическими явлениями. Здесь он указал, что линейные спектры появляются лишь в тех случаях, когда согласно новейшей теории газов молекулы находятся в состоянии свободного движения, между тем как в остальных случаях получаются сплошные спектры. Если, по его словам, взять, например, водород и посмотреть его спектр после того, как ртутный насос проработал в течение целых суток, то этот спектр окажется состоящим из одной единственной линии. Но если трубку снова заполнить газом при атмосферном давлении и затем увеличить давление вдвое и продолжать его увеличивать дальше, то наблюдавшаяся вначале зеленая линия начнет утолщаться, наряду с ней появятся новые линии, которые тоже будут утолщаться, и, наконец, когда давление достигнет 20 ат, спектр водорода станет сплошным и не будет ничем отличаться от спектра твердого тела. В легких металлах приближение линейного спектра к сплошному происходит, по-видимому, преимущественно путем расширения линий, а в тяжелых металлах путем увеличения их числа. В заключение Локайер приходит к выводу, что *линейные спектры обязаны своим происхождением свободным атомам, а полосатые — молекулам или скоплениям молекул*.

Мнение Локайера о существовании собственных спектров химических соединений встретило большое сочувствие. В 1877 г. Дж. Мозер вернулся к идеям Ангстрема и Талена, что согласно закону поглощения Кирхгофа спектральные особенности тел можно наблюдать как при помощи спектров пламени, так и при помощи *спектров поглощения* и что последнего рода наблюдения особенно пригодны для

¹ „Proc. of the Roy. Soc.“, XXI, стр. 83, 285 и 508. 1873: „Researches in spectrum analysis in connexion with the spectrum of the sun“. Приведенные здесь положения изложены прежде всего во второй из указанных выше статей. Тут же Локайер высказывает мысль, что линии, совпадающие в спектрах различных металлов, не могут быть одинаковым образом представлены в различных спектрах; указанное совпадение линий он объясняет здесь загрязнением одного металла другим. — Joseph Norman Lockyer (род. в 1836 г.) — издатель журнала „Nature“ в Лондоне.

² „Nature“, X, стр. 69 и 89, 1874; „Atoms and Molecules spectroscopically considered“; там же, стр. 154; „On the evidence of variation in molecular structure“.

336 РАЗЛОЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

изучения спектров аллотропических модификаций, так как они могут производиться при *обыкновенных температурах* ¹. Исследовав большое количество таких спектров поглощения, Мозер, подобно Локайеру, пришел к выводу, что каждое химическое соединение имеет свой особый спектр; что существенные изменения в спектрах могут быть вызваны только изменениями в химическом составе тел, а изменения массы и температуры светящегося источника могут дать лишь незначительные изменения спектров. По вопросу о линейных и полосатых спектрах и их связи со спектрами атомов и молекул он тоже присоединился к Локайеру. К аналогичным результатам пришел около этого времени и Циампиан ², пытавшийся, кроме того, установить связь между спектрами химически родственных элементов. Сопоставление спектров тридцати одного различных элементов привело его к следующим выводам. Спектральные линии родственных элементов соответствуют друг другу каждая в отдельности или группами, так что всякая естественная группа элементов имеет свой особый спектр, который у отдельных членов отличается лишь тем, что однородные линии в нем смещены к тому или другому концу спектра. Увеличение и уменьшение длины волны однородных линий в химически родственных элементах находится в связи с интенсивностью их химических сил; большей величине химической живой силы соответствует и большая длина волны ³. Что Ангстрем отнесся очень благоприятно к взглядам Локайера ⁴, было так же естественно, как и прямо противоположное отношение к ним со стороны Вюльнера. Последний в своей работе 1879 г. ⁵ установил, что при достаточной тонкости слоев и достаточно низком давлении полосатый спектр азота может быть путем повышения температуры постепенно переведен в линейный спектр, и что при этом можно ясно видеть полное обращение соотношения яркостей. Отсюда он снова пришел к выводу, *что характер спектра зависит только от температуры, плотности и толщины лучеиспускающего слоя газа и что, следовательно, для объяснения различных видов спектра не требуется никаких новых гипотез, вроде диссоциации молекул и т. п.* Между тем Локайер в целом ряде работ продолжал смело развивать свою теорию именно в этом направлении. Уже раньше он в соответствии со своей теорией наблюдал, что различные соединения кальция имеют свои особые спектры и что с повышением температуры все эти спектры все больше приближаются к общему для них всех

¹ „Pogg. Ann.", CLX, стр. 177, 1877. — James Moser (родился в 1852 г.)— доцент физики Венскою университета.

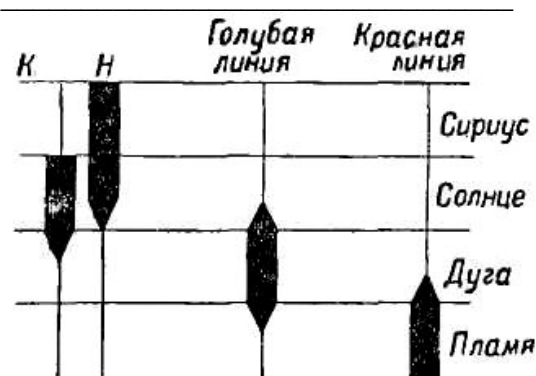
² „Anzeiger der K. Akad. d. Wissensch. in Wien, math. naturw. Classe", XIV, стр. 181, 1877.

³ Подобные же идеи развивал Лекок де-Буабодран, начиная уже с 1865 г. По его мнению, различные виды спектра одного и того же элемента вызываются различными движениями молекул, как-то: вращением, колебанием и поступательным движением. Смещение же однородных линий в родственных элементах зависит не от интенсивности химических сил, а от большей или меньшей тяжести молекул („Comptes rendus", LXIX, стр. 445, 606, 657, 694, 1869)

⁴ См. также „Pogg. Ann.", юбилейный том, стр. 429, 1874. ⁵ „Wied. Ann.", VIII, стр. 590, 1879.

РАЗЛОЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ 337

линейному спектру металла кальция. Теперь же он заметил, что с дальнейшим повышением температуры и этот линейный спектр может еще претерпеть изменения. При температуре электрической дуги линия кальция в голубой части спектра очень интенсивна, а фиолетовые линии *H* и *K* еще тонки; в спектре же солнца голубая линия очень слаба, а линии *H* и *K* очень широки. Установив подобные же явления на других металлах, Локайер пришел к мысли, что эти изменения линейных спектров происходят, быть может, от тех химических разложений, которые наши элементы могут претерпеть при высоких температурах, господствующих на небесных светилах. Другими словами, в светилах могут содержаться не наши элементы как таковые, а только основные вещества, из которых эти элементы составлены, причем эти вещества находятся в свободном состоянии; при этом возможно, что в различных светилах встречаются не все составные вещества того или другого из наших элементов, а лишь некоторые из них. В соответствии с этим он по спектрам звезд, снятым Геггинсом, установил, что линии кальция *H* и *K* в спектрах различных звезд представлены неодинаково; что в спектре Сириуса и звезды α в созвездии Лиры видна одна или почти лишь одна линия *H*¹. По вопросу о том, каким образом элементы составлены из основных веществ, Локайер, далее, приводит следующие соображения. Уже Тален раньше заметил, что в спектрах различных металлов некоторые линии или группы линий полностью или, во всяком случае, приблизительно совпадают. Локайер сначала думал, что подобная группа свойственна только одному металлу, а в спектре другого она может появиться лишь в результате его загрязнения. Теперь же он пришел к выводу, что такие линии могут быть действительно в спектрах многих металлов и что эти совпадения указывают на общность соответствующих составных частей элементов. Для того чтобы установить точнее эти общие, так называемые «основные линии», он сравнил сильно увеличенные части спектров металлов с соответствующими частями солнечного спектра², а так как линии железа в вольтовой дуге имели особенно большое



Черт. 12.

¹ Все эти выводы, плод своих многолетних работ, Локайер потом собрал в одной работе: „Discussion of the working hypothesis that the so-called elements are compound bodies“, которая появилась в „Proc. of the Roy. Soc.“, XXVII, стр. 157, 1878; также в „Nature“, XIX, стр. 197 и 225, а в переводе на немецкий язык в „Beiblätter zu Wied. Ann.“, III, стр. 88. Приложенный рисунок поясняет вид линий кальция в различных спектрах („Proc. of the Roy. Soc.“, XXVIII, стр. 171).

² Увеличение спектров было так сильно, что весь спектр, если бы он был составлен в масштабе увеличенной его части, имел бы длину $\frac{1}{16}$ английской мили. Для большей точности наблюдений Локайер всегда пользовался фотографическими снимками спектров.

338 СМЕЩЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

сходство с такими же линиями солнца, то он остановился, прежде всего, на линиях железа. Необходимые для установления различных диссоциаций различия температур он думал найти в *солнечных пятнах* и *протуберанцах*; и действительно, при многочисленных своих наблюдениях он заметил большое различие линий. К сожалению, это различие было очень непостоянным, и некоторые определенные основные линии можно было наблюдать лишь благодаря тому, что одна часть линий солнечных пятен, несмотря на малую порой интенсивность, всегда представлялась в расширенном виде; эта часть составляла не более $\frac{1}{10}$ доли всех линий, которые бывают видимы в парах железа. Но, с другой стороны, — *диссоциация земных элементов*, в частности — железа, была подтверждена как раз этими различиями линий в различных частях солнца. В самом деле, Локайер не только заметил, что отдельные линии железа в одних пятнах были представлены, а в других отсутствовали, но он также установил, что *различные линии* в одном и том же пятне дают различное смещение в спектре, тем самым указывая на совершенно различные *движения светящихся масс*, причем эти движения *не только отличались между собою своими скоростями*, но иногда имели *прямо противоположное направление*. На этом основании можно было, по его мнению, определенно считать, что, во всяком случае, на солнце железо имеется не в обычном его виде, а разложенным на свои составные части, и что последние в различных пятнах представлены в *неодинаковых количествах* и *обладают неодинаковыми движениями* ¹. Однако к этим широким выводам Локайера большинство физиков отнеслось *скептически*, а многие из них попытались объяснить интересные наблюдения Локайера, *не прибегая к диссоциации наших элементов*. Так, существование в спектре белых звезд якобы единственной кальциевой линии H' без следующей за ней линии H'' Г. В. Фогель ² объясняет тем, что это вовсе *не кальциевая линия*, а лежащая близко от нее *линия водорода*. В самом деле, Ливинг и Дюар ³ наблюдали, что известные спектральные линии некоторых веществ появляются лишь тогда, когда последние находятся в смеси с другими веществами; поэтому *отсутствие* определенных линий железа и кальция они объяснили отсутствием подобных примесей. Аналогичным образом Фогель объясняет и *смещение* отдельных линий, которое, по мнению Локайера должно указывать на движение светящихся масс. Гагенбах заметил, что спектры поглощения жидких растворов зависят от растворителя; а Кундт в соответствии с этим показал, что светлые линии в спектрах газов могут сместиться, если эти газы смешать с другими парами, которые не испускают света или дают сплошной спектр. Ввиду этого Фогель ⁴ приписал наблюдаемое Локайером смещение линий железа не *движению*, а *различным примесям* сильно рассеивающих газов к парам железа в различных местах солнца и высказал мысль, что во-

¹ „Comptes rendus", XCII, стр. 904, 1881; „Nature", XXIV, стр. 267, 296, 315, 365 и 391, 1881; „Solar physics. The chemistry of the Sun", „Proc. of the Roy. Soc.", XXXI, стр. 348; XXXII, стр. 203; XXXIII, стр. 154 и далее.

² „Sitzungsber. d. Berl. Akad.", стр. 192, 1880; „Nature", XXI, стр. 410, 1880. ³ „Proc. of the Roy. Soc.", XXVII, стр. 350, 1878.

⁴ „Sitzungsber. d. Berl. Akad.", стр. 905, 1882.

СМЕЩЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ 339

обще предположение о том, что на солнце происходит разложение наших элементов на составные части, в настоящее время представляется еще *ненужным*. Таким образом, эту попытку твердо построить на эмпирической основе с помощью физических наблюдений гипотезу о сложности состава наших элементов, которую химики уже давно признали вероятной, следует считать пока еще неудавшейся и, пожалуй, еще на долгое время; по-видимому, в области спектрального анализа наступила пауза как результат некоторого утомления, и физики склонны использовать этот перерыв для подведения итогов и спокойного пересмотра всего сделанного.

Не входя здесь в дальнейшее рассмотрение многочисленных и успешных исследований по спектральному анализу небесных светил, мы должны еще упомянуть о применении гипотезы Доплера к определению собственных движений космических масс с помощью спектрального аппарата, так как в этих работах сказывается дальнейший успех кинетической теории материи. Доплер применил свою идею о влиянии движения среды, излучающей волны, на действие этих волн, прежде всего к объяснению цветов двойных звезд; физики же до сих пор считали его идею применимой только к акустическим проблемам. Правда, Физо еще в 1848 г. в Филоматическом обществе, а в 1850 г. в Парижской академии ¹ наук высказал мысль, что при очень быстром приближении или удалении светящегося тела *должно происходить заметное смещение спектральных линий*; но его указание не встретило отклика. В 1861 г. Э. Мах ² вернулся целиком к идеям Доплера; он тоже объяснил цвета двойных звезд их движением и даже счел возможным, обратно, использовать цвет звезд для определения элементов их траекторий. Отвечая на возражения, он допустил, что космические скорости могут быть слишком малыми для того, чтобы давать ощутимые глазом изменения цвета, но вместе с тем заявил: *«Впрочем, я должен отметить, что измерения спектра могут еще давать результаты и в тех случаях, когда глаз уже не в состоянии заметить изменения цвета»* ³. Своеобразную мысль о применении доплеровского принципа к определению космических скоростей высказал Клинкерфюс ⁴. Он указал, что хотя от движущегося источника света глаз наш в течение определенного промежутка времени и получает больше импульсов, чем от неподвижного, однако при этом ни длина волны, ни окраска соответствующего света не изменяются, так как красный цвет при укорочении длины его волны восполняется инфракрасным, а фиолетовый при укорочении длины волны переходит в ультрафиолетовый. Но, с другой стороны, движение источника света должно проявиться в смещении всего спектра; а по отношению к бесцветному лучу, даваемому ахроматической призмой

¹ „L'Institut" Nr. 784, 1849; заявка на право приоритета в „Comptes rendus", LXIX. стр. 743, 1869.

² „Pogg. Ann.", CXII, стр. 58, 1861; CXVI, стр. 333, 1862. — Ernst Mach (1838—1916) — профессор физики Пражского университета (известный философ).

³ „Pogg. Ann.", CXVI, стр. 338.

⁴ „Göttinger Nachr.", стр. 157, 210, 376, 1865; стр. 33, 1866. — E. Fr. Wilh. Klinkerfues (1827—1884) — директор обсерватории в Геттингене.

340 СКОРОСТЬ ЗВЕЗД

(все свои наблюдения он производил такими призмами), оно должно проявиться в изменении преломления этого луча по сравнению с лучом, идущим от неподвижного источника света. Изменение преломления зависит от скорости, с которой световые фазы распространяются в луче. Если скорость распространения света в одной среде равна v , в другой v_1 , а скорость самого источника света равна g , то скорость, с которой световые фазы распространяются в обеих средах, равна соответственно $v+g$ и v_1+g ; а показатель преломления, вместо v/v_1 равен $(v+g)/(v_1+g)$, откуда можно определить величину скорости v . Однако проведенные с этой целью измерения Клинкерфюса не дали никакого результата. Поэтому Зонке ¹ в мае 1867 г. в своем отзыве о работах Клинкерфюса вновь высказал мысль о необходимости обратиться к наблюдению спектральных линий. *«Если звезда, — говорит он, — излучает такой же свет, как и солнце, но обладает большой скоростью, то темные линии в ее спектре должны быть несколько смещены по сравнению с линиями солнечного спектра, и по величине этого смещения можно было бы судить о скорости движения звезды»* ². В том же году Секки пытался исследовать в этом отношении спектр неподвижных звезд, но безуспешно ³. Успехом увенчались наблюдения Геггинса ⁴, произведенные почти одновременно с наблюдениями Секки. Последний наблюдал в спектре Сириуса смещение водородной линии F на 0,04 части микрометрического деления по сравнению со спектром гейслеровской трубки и отсюда исчислил *ежесекундное увеличение расстояния Сириуса от земли на 47,3 км*; следовательно, если принять в расчет движение земли, скорость *собственного движения* Сириуса определилась в 66,6 км в секунду. Для того чтобы сделать ненужным сравнение спектра звезд со спектрами искусственных источников света и создать возможность наблюдения менее ярких неподвижных звезд, Целльнер сконструировал так называемый *реверсивный спектроскоп* ⁵, который был устроен следующим образом. Полоска света, полученная с помощью щели или цилиндрической чечевицы, находилась в фокусе собирающей чечевицы, которая превращала ее в пучок параллельных лучей. После этого лучи проходили через две системы призм а *vision directe* Амичи ⁶, которые были установлены рядом таким образом, что каждая из них пропускала половину лучей, идущих к ним из объектива коллиматора, и ребра которых лежали на противоположных сторонах, так что вся масса лучей разлагалась на два спектра, имевших

¹ „Pogg. Ann.", CXXXII, стр. 279, 1867.

² „Pogg. Ann.", CXXXII, стр. 292.

³ „Comptes rendus", LXVI, стр. 398, 1867.

⁴ „Phil. Trans.", стр. 529, 1868. — William Huggins (родился в 1824 г.)—английский астроном.

⁵ „Pogg. Ann.", CXXXVIII, стр. 32, 1869.

⁶ Парижский оптик J. G. Hofmann утверждал („Cosmos", XXII, стр. 384, 1863), что он первый устроил спектроскоп а *vision directe*, но что идея его устройства принадлежит Амичи.—Giov. Batt. Amici (1786—1863) — профессор астрономии во Флоренции.

РЕВЕРСИОННЫЙ СПЕКТРОСКОП 341

противоположные направления. Далее, объектив зрительной трубы был разрезан пополам перпендикулярно к горизонтально расположенным преломляющим ребрам призм, причем каждую половину можно было микрометрически перемещать как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Благодаря такому устройству каждое изменение спектра, которое проявлялось в смещении линий, удваивалось, так как в каждом спектре смещение происходило в противоположном направлении. По словам Целльнера Максвелл, в соответствии с прежними исчислениями Эйзенлора, показал, что средней скорости земли в 4 мили должно соответствовать смещение спектральных линий на $\frac{1}{10}$ расстояния между линиями натрия; поэтому он полагал (конечно, до работы Геггинса), что измерение таких перемещений «с помощью наших инструментов» невозможно. Теперь же Целльнер нашел, что с помощью его реверсионного спектроскопа можно определить с точностью до $\frac{1}{226}$ расстояние между обеими линиями D; следовательно, этот прибор дает возможность измерить космические скорости, не превышающие частей мили. Тем не менее, это спектроскопическое измерение скоростей движения космических тел представляется еще очень трудным и ненадежным, так как на него очень сильно влияют вредные помехи, и, прежде всего — трудно устранимое нагревание призм. Так, Г. Крюсс ¹ наблюдал значительное смещение спектральных линий даже при небольших изменениях комнатной температуры, причем различные призмы давали смещение в различные стороны; точно так же и Г. Мюллер ² констатировал зависимость преломления, а равно и дисперсии света от изменения температуры.

Спектральный анализ исходил из предположения, что обычные призмы изменяют проходящий через них свет только в том смысле, что они не в одинаковой степени отклоняют лучи различных цветов и тем самым расчлениают свет на его составные цвета. Конечно, было известно, что каждое вещество *поглощает* некоторую часть света, причем различные вещества поглощают его в различных пропорциях, но в то же время считали возможным допустить, что поглощение не оказывает какого-либо иного действия на прошедший уже свет. Считалось общепризнанным, что хотя величины преломления и дисперсии возрастают и убывают с оптической плотностью вещества, но все же они связаны с длиной волны таким образом, что *большая длина волны всегда обуславливает меньшую преломляемость, и обратно*. Последнее положение вытекало из всех предшествующих теоретических выводов, в основании которых всегда лежала *зависимость преломления только от оптической плотности рассматриваемой среды и от длины волны рассматриваемого луча света*. Однако в последний период физики наблюдения показали, что указанное представление о взаимодействии между колебаниями эфира и движениями весомих частиц вещества является слишком узким и что и в данной области движения частиц весомих материи оказывают большее влияние, чем это предполагали до сих пор.

¹ „Ber. d. Deutsch. chem. Ges.“, XVII, стр. 2732, 1884.

² „Beiblätter zu Wied. Ann.“, X, стр. 279, 1886.

В 1862 г. *ле-Ру*¹ заметил, что пары йода, поглощающие среднюю часть спектра и пропускающие лишь крайние красные и синие лучи, в противоположность другим телам, преломляют синие лучи слабее, чем красные. Этот случай преломления он тогда же назвал сохранившимся до сих пор термином *аномальной дисперсии*; в остальном это явление не обратило на себя особого внимания. Лишь восемь лет спустя Христиансен² опубликовал другое аналогичное наблюдение. Глядя через полую призму, наполненную *раствором фуксина*, на ярко освещенную щель, он увидел, что спектральные цвета, вместо обычного порядка от красного до фиолетового, идут частично в измененном порядке: фиолетовый, красный и желтый. Таким образом, от фраунгоферовой линии *B* до линии *D* показатель преломления фуксина возрастал, как обычно, а затем до *G* он быстро убывал, после чего он опять несколько возрастал. Вслед за Христиансеном вопросом об аномальной дисперсии занялся А. Кундт³, который эмпирическим путем установил *общие законы* этого явления. Он сначала испытал целый ряд тел, обладающих *металлическим блеском*, подобно фуксину, а затем распространил свое исследование на все тела с так называемой *поверхностной окраской*⁴. Таким образом, он сначала исследовал *анилиновую синь*, *анилиновую фиолетовую*, *анилиновую зелень*, *индиго* (растворенное в дымящейся азотной кислоте), *индигокармин*, *мурексид* (растворенный в калийном щелоке), *цианин*, *марганцовокислое кали*; затем — *ализарин* (в калийном щелоке), *орселлин*, *лакмус*, *экстракты красного, синего и сандалового дерева*, *корень алканны*, *кровь*, *гематин*, *хлорофилл* и т. д. При этих исследованиях он установил, что тела, *сильно отражающие* известные цвета, эти самые цвета *сильно поглощают*, так что в спектре света, прошедшего через подобные тела, поверхностные цвета должны отсутствовать по *двум* причинам. Показатели преломления таких тел для указанных цветов не поддаются непосредственному наблюдению в спектре, но

¹ „Dispersion anormale de la vapeur d'iode", „Comptes rendus", LV, стр. 126, 1862; также „Pogg. Ann.", CXVII, стр. 659. В предшествующей работе („Comptes rendus", LI, стр. 171, 1860) *ле-Ру* только установил, что когда призма была наполнена парами йода, спектр от ярко освещенной щели дал две отдельные полосы, расположенные друг над другом, — одну синюю и другую фиолетовую. Лишь позднее он заметил, что расположение этих цветов было противоположно их порядку в обычном спектре.

² „Pogg. Ann.", CXLI, стр. 479, 1870; CXLIII, стр. 250, 1871; CXLVI, стр. 154, 1872.

³ „Über die anomale Dispersion der Körper mit Oberflächenfarben", „Pogg. Ann.", CXLII, стр. 163; CXLIII, стр. 149 и 259; CXLIV, стр. 128, 1871; CXLVI, стр. 67 и 164, 1872. „Beziehungen zwischen der Dispersion und Absorption des Lichtes", „Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 615, 1874.—А. Кундт (1839—1894)—профессор экспериментальной физики в Берлине.

⁴ Это такие вещества, которые прозрачны для отдельных лучей, но другие лучи отражают с металлическим блеском.

Дэль и Баден-Поуэлль уже в 1846 г. показали, что индиго и берлинская лазурь, принадлежащие к веществам с поверхностной окраской, проявляют, подобно металлам, ясные признаки эллиптической поляризации („Pogg. Ann.", CXLII, стр. 165).

АНОМАЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ 343

есть основание думать, что они исключительно велики или малы ¹ и что показатели преломления соседних цветов очень быстро и значительно приближаются к этим максимумам или минимумам. *Это быстрое приближение цветов, граничащих с полосой поглощения, к аномальным максимумам и минимумам преломления и составляет то, что наблюдали в виде аномальной дисперсии.* Действительно, повсюду, где происходит особое поглощение отдельных цветов, Кундт установил наличие аномальной дисперсии; для зависимости дисперсии от поглощения он установил, как общий закон, *что перед каждой полосой поглощения, если к ней приближаться со стороны более длинных волн (в воздухе), преломление очень быстро возрастает, а при обратном направлении оно очень быстро убывает.* При подходящей концентрации диспергирующего раствора аномальное увеличение или ослабление показателя преломления может дойти до того, что преломление в части спектра, предшествующей абсорбционной полосе, окажется сильнее, чем в последующей части спектра.

Уже в этих работах Кундт высказал мысль, что, вероятно, и отдельные газы и пары с очень большой поглощательной способностью обладают аномальной дисперсией, но тогда он еще сомневался в возможности ее наблюдения ². Однако позднее ему случайно удалось ее наблюдать ³. Приготовляя совместно со своим ассистентом Кольраушем к лекции опыт по обращению светлой линии натрия, он отбросил на экран через вертикальную призму яркий горизонтальный спектр от электрической дуги и, поставив на пути света бунзеновскую горелку, в которой горел кусочек металлического натрия, заметил, что спектр имел своеобразный вид, показанный на приложенном здесь рисунке. Странные изгибы спектра возле темной линии *D* он тотчас



Черт. 13.

¹ О развитии этих идей Кундт („Pogg. Ann.", CXLII, стр. 163) сообщает следующее: „Если принять за основание опыты Жамена с эллиптической поляризацией света, отраженного от металлов, и более поздние опыты Квинке, то из формул Коши, Беера и Эйзенлора следует, что некоторые металлы, например серебро и золото, имеют показатели преломления меньше единицы; таким образом, скорость (света в них) больше, чем в безвоздушном пространстве. Кроме того, из теории Коши, в связи с опытами Жамена, следует, что показатель преломления металлов зависит от угла падения и что в большинстве металлов дисперсия оказывается обратной дисперсии в прозрачных телах, т. е. что свет с меньшей длиной волны в металлах должен преломляться слабее света с большей длиной волны. По-видимому, до сих пор один только Квинке попытался проверить эти выводы на опыте. Явления интерференции света, прошедшего частью через металл, частью через воздух, дали ему для прозрачных модификаций серебра и золота с голубой окраской коэффициенты преломления, меньшие единицы".

² „Pogg. Ann.". CXLIV, стр. 132.

³ „Über anomale Dispersion im glühenden Natriumdampf", „Wied. Ann.", X, стр. 321, 1880.

344 ДИСПЕРСИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

же удачно объяснил *аномальной дисперсией света парами натрия*, которые, благодаря конической форме пламени, должны были действовать, как призма. Эта призма, обращенная преломляющим ребром вверх, дает в свою очередь спектр, и наиболее отклоненная часть последнего должна быть направлена вниз. Изгибы представляют собою части спектра, полученного с помощью этой призмы; их форма показывает, что и здесь, в соответствии с законом Кундта, часть спектра, предшествующая полосе поглощения, отклонена сильнее, чем часть, следующая за ней. Из установленной связи между избирательным поглощением и отражением света Кундт и для газов пришел к выводу, что те газы, которые очень сильно поглощают какой-либо цвет, должны его и сильно отражать и что, следовательно, газы, которые сами по себе не излучают, могут давать в отраженном свете свою особую, свойственную им окраску.

Что касается связи аномальной дисперсии и прежде всего закона Кундта с теорией света, то доказанная им несомненная связь между поглощением света и величиною преломления очень сильно повлияла на *теорию дисперсии* вообще. До этого времени все изменения, претерпеваемые светом при столкновении его с весомой материей, объясняли косвенно особыми *состояниями плотности* эфира в телах. Теперь же была установлена *связь между преломлением и отражением*, с одной стороны, и *поглощением* — с другой, а так как последнего нельзя себе представить иначе, как в виде превращения движений эфира в движения весомой материи, то и другие видоизменения света в телах должны были находить себе объяснение в частичной передаче светового движения молекулам тел. Раньше мы уже упомянули ¹, что в середине шестидесятых годов Буссинеск с успехом шел по этому пути. Он принимал, что эфир везде, как и в пустоте, однороден, что он имеет повсюду одинаковую упругость и одинаковую плотность. Волны эфира, распространяющиеся между частицами тел, изменяются не вследствие особых свойств эфира в телах, а вследствие того, что они частично передают свои движения молекулам тел и, обратно, испытывают влияние со стороны последних. Отсюда уже вытекало основное условие волновой теории, что в телах свет должен распространяться медленнее, чем в пустоте, и отсюда же Буссинеск проще и строже, чем прежде, вывел *френелевские законы двойного преломления, формулу дисперсии, аналогичную формуле Коши*, равно как явления *круговой поляризации* ². На этой же теоретической основе была затем построена и связь между поглощением и преломлением света, а вместе с тем и теория аномальной дисперсии. Уже в том томе «Pogg. Ann.», в котором появились вторые статьи Христиансена и Кундта, В. Зелльмейер ³ опубликовал *новую теорию дисперсии*, содержащую в себе объяснение *аномальной дисперсии*. Объяснив изменение скорости распространения света в телах частичной передачей

¹ См. стр. 287 первого выпуска настоящей части.

² См. также Verdet-Exner, „Undulationstheorie des Lichtes“, II, стр. 29.

³ „Pogg. Ann.“, CXLIII, стр. 272, 1871. Далее, в „Pogg. Ann.“, CXLV, стр. 399 и 520; CXLVII, стр. 386 и 525.

ТЕОРИЯ ДИСПЕРСИИ 345

движений эфира весомым частицам, он доказал, что молекулы тел, способные поглощать свет с определенной частотой колебаний, способны в то же время изменять показатели преломления света с иной частотой колебаний, и притом таким образом, что показатель преломления света с частотой колебаний, превышающей частоту поглощаемого света, увеличивается, а у света с частотой колебаний, меньшей поглощаемого, уменьшается. О. Е. Мейер ¹ для объяснения аномальной дисперсии допустил только, что колебания эфирных частиц при прохождении своем через тела встречают сопротивление, но оставил невыясненным, каким образом возникает это сопротивление. К. Пушль ² сделал предположение, что в телах свет распространяется не только в эфире, но и в *атомах тел*, но только в последних он *замедляется*. Поэтому, если атомы особенно медленно распространяют какой-либо род света, то они не только очень сильно отражают и преломляют этот свет, но и особенно сильно его поглощают — свет быстро угасает в результате бесчисленных внутренних отражений. Таким образом, *медленное распространение* света в атомах естественно связывает между собою *сильное поглощение, сильное отражение и сильное (аномальное) преломление* света в телах. Более детально исследовал вопрос о сопротивлениях, встречаемых движением эфира в телах, Гельмгольц в работе 1874 г. «Zur Theorie der anomalen Dispersion» («К теории аномальной дисперсии») ³. Движения эфира и движения весомых частиц он выразил в двух *формулах*. Первая давала в виде дифференциального уравнения *силу свободного эфира*, выраженную через сумму тех движений, которые остались еще у эфира в телах, и тех движений, которые перешли с эфира к весомым частицам. Другое дифференциальное уравнение представляло *силу колебаний весомых атомов* в виде силы, сообщаемой им эфиром, уменьшенной на силу сопротивления, оказываемую движущейся части массы со стороны частей материальной массы, остающейся в относительном покое (если таковая существует) ⁴, и уменьшенной еще на ту часть силы, которая

¹ „Pogg. Ann.", CXLV, стр. 80, 1872.

² „Wiener Sitzungsber.", LXVIII, стр. 446, 1873.

³ „Pogg. Ann.", CLIV, стр. 582, 1875; также „Monatsber. d. Berl. Akad.", октябрь 1874; перепечатано в „Wissensch. Abhandl.", II, стр. 213. О теории Зелльмейера Гельмгольц говорит, что хотя она и поясняет существенные стороны явлений аномальной дисперсии, но для случая поглощения света не вводит никакой силы, которая могла бы уничтожить механическую работу колебательного движения и превратить ее в теплоту, и что в данном случае теория прибегает к таким соображениям, которые пока еще не поддаются аналитической обработке. Поэтому он попытался видоизменить объяснение Зелльмейера, введя силу трения, противодействующую движению весомых частиц — в том виде, в каком она оправдалась при применении ее к более медленным качаниям маятника и звуковым колебаниям тел, где она привела к теории резонанса, хорошо согласующейся с опытом.

⁴ По этому поводу Гельмгольц делает следующее замечание („Pogg. Ann.", CLIV, стр. 585). „Здесь опять-таки в интересах упрощения расчета сделаем предположение, не вполне, может быть, соответствующее действительности, но допустимое с точки зрения механики, — что тяжелые центральные массы молекул остаются неподвижными, а подвижные части молекул стремятся сохранить известное положение равновесия относительно этих центральных масс и относительно эфира".

346 ФОТОМЕТРИЯ

в результате процесса, схожего с трением, перешла в теплоту и, таким образом, поглотилась. Путем интегрирования этих уравнений Гельмгольц получил формулы для скорости распространения света и вместе с тем для отношения между длинами волн и показателями преломления, которые действительно оказались зависящими от коэффициентов поглощения. Из этих же формул, в зависимости от того, принимался ли коэффициент поглощения равным нулю или же ему давалось большее значение, получались законы нормальной и аномальной дисперсии. Из тех же исходных предпосылок о взаимодействии между движениями эфира и весомой материи исходил Кеттелер¹ при обосновании своей теории дисперсии. Он только более подробно вошел в рассмотрение тех сил торможения и сопротивления, которые проявляются при этом со стороны весовых частиц.

Спектральный анализ вплоть до последнего времени больше всего привлекал внимание физиков-экспериментаторов, поэтому наряду с ним могли более или менее успешно развиваться лишь немногие отрасли оптики. Одной из подобных отраслей была *фотометрия*, так как она не только служила подспорьем для спектрального анализа при изучении небесных тел, но имела также очень важное значение для все более развивавшейся тогда *техники освещения*. Известно, что глаз в качестве измерительного аппарата для определения интенсивности света зависит в высокой степени от множества субъективных условий и допускает лишь относительные измерения; поэтому усилия исследователей были направлены к тому, чтобы помимо усовершенствования бывших уже в ходу фотометров построить такие приборы, которые были бы более независимы от субъективной оценки силы света и давали бы возможность определять силу света в *абсолютных единицах*. Наиболее сильный толчок в этом направлении был дан Целльнером, начавшим в 1857 г. свою научную деятельность фотометрическими работами, предпринятыми им, по-видимому, под влиянием Зейделя и Вильда. Зейдель, занимавшийся в 1846 г.² сравнением яркости различных планет и неподвижных звезд первой величины с наиболее яркой звездой Вега в созвездии Лиры, применял для этой цели фотометр Штейнгеля³, представлявший собой зрительную трубу с разрезанным объективом, с помощью которого можно было получать рядом изображения сравниваемых звезд. Измерения Зейделя хорошо совпадали с результатами измерений Гершеля⁴. Но Вильд⁵ незадолго

¹ „Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 166, 1874; „Verhandl. d. nat. Ver. f. Rheinland-Westphalen", 33-й год, стр. 197; „Pogg. Ann.", CLX, стр. 466, 1877; там же, дополнительный том VIII, стр. 444, 1878; „Wied. Ann.", 1879, 1880 и т. д. E. Ketteler (родился в 1836 г.) — профессор физики в Бонне.

² „Münch. gelehrte Anzeigen", XXIII, стр. 1, 1846; „Abhandl. d. Münch. Akad.", VI, 3 отдел, 1852. — Ph. L. v. Seidel (родился в 1821 г.) — профессор математики Мюнхенского университета.

³ „Pogg. Ann.", XXXIV, стр. 644, 1835.

⁴ Так, он получил: Сириус 5,13; Арктур 0,84; Альдебаран 0,36; Денеб 0,35; Марс (24 августа 1845 г.) 6,80; Юпитер (1 сентября 1845 г.) 8,50.

⁵ „Pogg. Ann.", XCIX, стр. 235. Полная теория в „Pogg. Ann.", CXVIII, стр. 193. О принципах своего прибора Вильд говорит: „Нейман в Кенигсберге в своих лекциях по оптике коснулся теории прибора, с помощью которого

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЦЕЛЛЬНЕРА 347

до Целльнера, в 1856 г., описал новый вид фотометров, в которых ослабление нормального света до равенства его с измеряемым светом достигалось не удалением первого от прибора, а с помощью поляризации. *Поляризованный фотометр Целльнера*¹, или *астрометр*, как его назвал Целльнер в связи с преимущественным применением его, в последней своей конструкции состоит из зрительной трубы, в нижнем конце которой, в том месте, где получается изображение, даваемое объективом, установлена под углом в 45° к оси плоскопараллельная необоженная стеклянная пластинка. В этом же месте к зрительной трубе присоединяется другая труба, которая направлена под прямым углом к оси зрительной трубы и под углом в 45° к стеклянной пластинке. На внешнем конце этой боковой трубки имеется маленькое отверстие, через которое проходит свет керосиновой лампы постоянной яркости; далее, с помощью собирательной линзы этот свет концентрируется и дает изображение рядом с тем изображением, которое получается от объектива зрительной трубы. Для того чтобы интенсивность света полученной таким образом «искусственной звезды» свести к интенсивности света изображения естественной звезды, наблюдаемой через зрительную трубу, в боковой трубке помещены две никелевые призмы. Ближайшая к зрительной трубке призма установлена неподвижно, другая призма, установленная ближе к лампе, может вращаться, и снабжена делительным кругом для отсчета вращения. Степень ослабления лампового света при вращении николя определяется по закону косинусов Малюса. Этот фотометр был предназначен для измерения интенсивности точечных источников света; для сравнения излучающих свет поверхностей служил другой фотометр подобной же конструкции, в котором поле зрения наполовину освещалось исследуемым источником света и наполовину нормальным светом. Далее, для того чтобы иметь возможность сравнивать между собою *источники света с различной цветной окраской*, Целльнер поместил в боковой трубке перед вращающимся николем пластинку из кварца, а перед нею еще третью николевскую призму, вращением

можно, пользуясь частично поляризованным светом, определить отношение между интенсивностью естественного и поляризованного света. А именно, если от обоих сравниваемых источников света получить два пучка совпадающих по своему направлению лучей, поляризованных перпендикулярно друг к другу, то результирующий луч будет производить впечатление частично поляризованного света, если оба перпендикулярно друг другу поляризованных составляющих его будут неодинаково сильны, и, наоборот, он будет казаться естественным светом, если оба его составляющих будут равны. Если при этом имеется средство изменить по желанию поляризованные составляющие и затем точно определить ту точку, где они оба становятся равными, т. е. путем взаимной поляризации дают естественный свет, мы тотчас же получаем возможность определить отношение интенсивностей обоих источников света, если только для точки нейтрализации мы можем установить, сколько естественного света поляризовано в каждом луче, идущем из данного источника".

¹ Фотометрические работы Целльнера: „Photometrische Untersuchungen", „Pogg. Ann.", С, стр. 381, 474 и 651, 1859; там же, CIX, стр. 244, 1860; „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels", Berlin 1861; „Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physikalische Beschaffenheit der Himmelskörper", Leipzig 1865; выводы из последних работ изложены также в „Pogg. Ann.", CXXVIII, стр. 260, 1866.

348 АСТРОФОТОМЕТР

которой он мог придавать нормальному свету любую цветную окраску. Тем не менее, сравнение разноцветных источников света оказалось ненадежным; исследование же одноцветных источников света дало в среднем результаты, согласные с теми, которые получил Зейдель с помощью штейнгелевского фотометра с призмами. Р. Энгельман, находившийся в Индии во время большого солнечного затмения 1868 г. и занявшийся там сравнением света различных звезд при помощи астрофотометра, получил результаты, вполне согласные с данными Гершеля, полученными им в 1834 — 1838 гг. Ниже приведены некоторые из полученных Целльнером результатов, касающихся сравнительной силы света планет:

Солнце	618 000 (или 619 000) с вероятной ошибкой . . .	в 1,6 (2,7)
Полная луна		
Солнце	6 994 млн.	„ „ „ „ 5,8
Марс		
Солнце	5 472 „	„ „ „ „ 5,7
Юпитер		
Солнце	130 980 „	„ „ „ „ 5,0
Сатурн		
Солнце	8,486 блн.	„ „ „ „ 6,0
Уран		
Солнце	79,620 „	„ „ „ „ 5,5
Нептун		

Отсюда для величины, представляющей отношение между светом, падающим на планету, и светом, от нее отраженным, Целльнер получил следующие числа:

Луна	0,1736	Сатурн	0,4981
Марс	0,2672	Уран	0,6400
Юпитер	0,6236	Нептун	0,4648

Для сравнения он привел соответствующие числа для некоторых земных тел:

Свежевыпавший снег	0,783	Темносерый сиэнит	0,078
Белая бумага	0,700	Ртуть	0,648
Белый песчаник	0,237	Зеркальный металл	0,535
Мергель	0,156	Стекло	0,040
Кварцевый порфир	0,108	Обсидиан	0,032
Влажная пашня	0,079	Вода	0,021 ¹

Значительный шаг вперед в деле сравнения интенсивности *различно окрашенных источников света* сделал К. Фирордт², соединивший спек-

¹ „Pogg. Ann.", CXXVIII, стр. 263—266.

² „Die Anwendung des Spectralapparates zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes", Tübingen 1871. „Die Anwendung des Spectralapparates zur Photometrie der Absorptionsspectra und zur quantitativen chemischen Analyse", Tübingen 1873. Реферат в „Jahrbuch der Erfindungen", IX, стр. 70,— К. v. Vierordt (1818 — 1884) — профессор физиологии в Тюбингене.

ФОТОМЕТР ДЛЯ ОКРАШЕННОГО СВЕТА 349

троскоп с фотометром и получавший в нем спектр от нормального источника, соответствующую часть которого он сравнивал с исследуемым окрашенным светом. При этом Фирордт, главным образом, поставил себе целью провести измерение поглощательной способности различных прозрачных веществ по отношению к *различным частям спектра*. С этой целью он наполовину прикрывал входную щель большого спектроскопа слоем исследуемого прозрачного вещества, так что получалось два спектра; спектр поглощения и нормальный, расположенные один над другим. Для того чтобы иметь возможность выделить из спектра ту или другую часть его для наблюдения, в зрительной трубке спектрального аппарата перед окуляром на месте нитяного креста были устроены две подвижные, непроницаемые для света задвижки, а для ослабления света нормального спектра до интенсивности спектра поглощения задвижки входной щели были составлены из двух верхних и нижних частей, благодаря чему можно было расширять и суживать независимо друг от друга верхнюю и нижнюю ее половины; при этом ослабление нормального спектра могло также осуществляться с помощью дымчатых стекол, обладающих определенной ослабляющей способностью. Вполне понятно, что таким же образом можно было сравнивать друг с другом различные части спектра прямого света. Указанным методом Фирордт, приняв общую интенсивность солнечного спектра равной 1 000 000, получил для отдельных частей его следующие числа:

От линии <i>A</i> до линии <i>a</i> . . .	72	От линии <i>D</i> до линии <i>E</i> . . .	478 544
" " <i>a</i> " " <i>B</i> . . .	1 592	" " <i>E</i> " " <i>F</i> . . .	186 143
" " <i>B</i> " " <i>C</i> . . .	4 114	" " <i>F</i> " " <i>G</i> . . .	36 190
" " <i>C</i> " " <i>D</i> . . .	288 957	" " <i>G</i> " " <i>H</i> . . .	4 383

Однако с точки зрения точности измерений с помощью этого прибора метод ослабления света путем сужения или расширения той или другой половины щели вызывает сомнения, так как при этом изменяется не только интенсивность, но и цветной состав соответствующего света. Поэтому Глан ¹ в приборе, устроенном им по принципу Фирордта, снова обратился к методу ослабления света с помощью поляризации; а Г. Фогель ² после этого с большим успехом применил подобный спектрофотометр для своих наблюдений над поглощением света слоями газа, окружающими солнце.

Во всех этих фотометрах измерение все-таки производится на основе субъективного восприятия света; *абсолютная фотометрия*, при которой интенсивность света была бы связана с другими физическими силами и измерялась бы при помощи последних, пока еще оставалась в проекте. В 1875 г. В. Сименс ³ изготовил фотометр, в котором, по крайней мере, непосредственно субъективная оценка на глаз была уже исключена и интенсивность света могла быть выражена в электриче-

¹ „Wied. Ann.", II, стр. 351, 1877.—P. Glan (родился в 1846 г.) — приват-доцент в Берлине.

² „Monatsber. d. Berl. Akad.", стр. 104, 1877."

³ „Revue d. Fortschr. d. Naturw.", III, стр. 438, 1875.

350 АБСОЛЮТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

ских, а следовательно, и в абсолютных единицах. Этот прибор был основан на том явлении, что *электрическая проводимость кристаллического селена под влиянием освещения изменяется*. В цепь тока от элемента Даниеля были включены гальванометр и кусок селена; последний освещался светом нормальной свечи, причем последняя перемещалась до тех пор, пока отклонение стрелки гальванометра оказывалось равным тому, какое получалось от исследуемого источника света. Целльнер ¹, исходя из высказанной им в прежних его работах мысли, что интенсивность света равна его живой силе, попытался измерить первую при помощи последней; для этой цели он предполагал измерять действие света на *радиометр*, снабдив последний круговой шкалой, соединенной с крестом радиометра; при этом он допускал, что живая сила световых лучей пропорциональна углу отклонения креста радиометра (во всяком случае, когда крест не делает полного оборота). В это же время неожиданно выяснилось, что для дальнейшего усовершенствования *микроскопа* имеется определенный предел. До этих пор полагали, что подобно тому как зрительная труба позволяет проникать все дальше в глубь неизмеримых пространств, так и микроскоп поведет нас все дальше в область неизмеримо малых величин. Однако теперь Аббе и одновременно с ним и Гельмгольц показали, что в последнем направлении мы уже почти дошли до пределов различного и что микроскоп вскоре уже откажется вести нас дальше. Лишь после того как в текущем столетии сложные микроскопы были настолько усовершенствованы, что они могли соперничать по ясности и четкости даваемых изображений с простыми микроскопами, мог быть сделан дальнейший шаг к их улучшению, еще большему увеличению даваемых ими изображений. Около 60-го года известные оптики Гартнак и Мерц и сыновья, следуя идее Амичи, устроили свои так называемые *иммерсионные системы*, при употреблении которых между объективом и покровным стеклышком вместо воздуха помещается какая-нибудь жидкость, например вода, глицерин или маковое масло ²; это устройство дало возможность сразу сильно повысить разрешающую способность микроскопа. Однако возникшим в связи с этим надеждам, что в дальнейшем этим путем удастся добиться дальнейшего усиления увеличительной способности микроскопов, был положен конец в 1874 г. статьей Аббе «Über die Grenzen der Leistungsfähigkeit

¹ „Das Scalen-Photometer, ein neues Instrument zur mechanischen Messung des Lichtes, nebst Beiträgen zur Geschichte und Theorie der mechanischen Photometrie, Leipzig 1879. Сам Крукс тоже рекомендовал использовать изобретенный им радиометр в качестве фотометра („Nature", XIII, стр. 392 и 452, 1876)

² Гартинг говорит о первых иммерсионных системах („Pogg. Ann", CXIV, стр. 82, 1861): „Гартнак в этой системе последовал примеру, данному Амичи в 1850 г., и поместил между покровным стеклом и свободной поверхностью нижней линзы тонкий слой воды... Так как вода сильнее преломляет, чем воздух, то благодаря этому значительно ослабляется, или даже совсем пропадает, отражение света с поверхности объектива. Поэтому в микроскоп попадает большее количество лучей, и, таким образом, тонкий слой воды производит то же самое действие, что и увеличение апертуры микроскопа. Это благоприятное действие, сказывается преимущественно на краевых лучах, падающих наиболее косо... поэтому указанный слой должен повышать разрешающую способность микроскопа".

der Mikroskope» («О пределах эффективности микроскопов») ¹. Аббе показал, что возможная степень увеличения микроскопом зависит, главным образом, от дифракции световых лучей. Мы не в состоянии различить таких структурных отношений, отдельные части которых расположены настолько близко друг к другу, что, по крайней мере, первый из отклоненных световых пучков не поступает в объектив одновременно с не отклоненным конусом света. Отсюда следует, что при центральном освещении взаимное расстояние между поддающимися различению частями не может быть меньше длины целой волны применяемого света, а при наиболее косом освещении оно не может быть меньше половины длины волны. Как выше было указано, одновременно и Гельмгольц ² пришел к совершенно тем же результатам, но он дополнил свою работу и теоретическим обоснованием этих результатов, чего не сделал в своем сообщении Аббе. В качестве меры для наименьших различимых объектов Гельмгольц взял такие расстояния между черточками прозрачной дифракционной решетки, при которых эти черточки можно еще ясно отдельно различать ³. Так как можно доказать, что решетка представляется в виде однородной светлой поверхности, когда ширина дифракционных полос равна ширине интервала решетки, то для наименьшего расстояния ε , которое может еще быть различаемо в микроскопе, получается формула $\varepsilon = \lambda / 2 \sin \alpha$, где λ обозначает длину волны в веществе объекта и α — угол расхождения падающих лучей. Для угла расхождения в 90° получается тогда, как и у Аббе, $\varepsilon = \lambda / 2$; или, если принять в расчет только наиболее светлые лучи белого света: для обыкновенного объектива $\varepsilon = 1/3636$ мм, а для иммерсионной системы, где между покровным стеклом и объективом имеется вода, получается $\varepsilon = 1/4848$; последняя величина, впрочем, в данном случае не вполне достижима ввиду меньшей величины возможного угла расхождения лучей. И действительно, непосредственные измерения с помощью новейших микроскопов показали, что указанное максимальное возможное увеличение почти уже ими достигнуто. Гельмгольц в своей работе отмечает лишь, что применение однородного синего света, ввиду меньшей длины его волны, может дать большее увеличение, чем указанное выше для белого света; однако Аббе в применении обладающих еще более короткой длиной волн *химически активных ультрафиолетовых лучей для фотографирования микро-*

¹ „Schultze's Arch. f. mikrosk. Anatomie", IX, стр. 413, 1874. E. Abbe (родился в 1840 г.) — профессор в Йене.

² „Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 557, 1874; также „Wissensch. Abhandl.", II, стр. 185.

³ Подобные стеклянные решетки для исследования увеличительной способности микроскопа впервые предложил и стал изготавливать Ф. Ноберт из Грейфсвальда. В его решетках промежутки между отдельными линиями составляли: 0,001000; 0,000857; 0,00073; 0,000630; 0,000540; 0,00463; 0,00097, 0,000340; 0,000292; 0,000225 парижских линий („Pogg. Ann.", LXVII, стр. 173).

352 МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ФОТОГРАФИЯ

скопических изображений находит средство для еще большего повышения увеличительной способности микроскопов.

И действительно, с этого времени, под влиянием только что указанных идей, начинается поразительное развитие *микроскопической фотографии*, которое до сих пор имело очень слабое применение. Так как в это же время стали все с большим успехом *фотографировать солнце, луну, планеты, звездное небо*, так как по примеру Геггинса стали фотографировать и тем самым закреплять спектры земных пламен, как и небесных тел, и вообще все больше приобретали навык в непосредственной фотографической регистрации разнообразных физических процессов, то фотография стала постепенно переходить из области искусства в область науки, где ее приняли с радостью и большими надеждами. Весьма вероятно, что со временем фотография завоюет себе место во всех отраслях науки и приобретет повсюду то значение, которое она во многих случаях имеет и теперь, — значение общего нелицеприятного протоколиста науки, беспартийного, неопровержимого, вполне надежного свидетеля всех научных исследований, произведенных в кабинетной тиши.

ФИЗИКА ЗВУКОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ, МЕХАНИКА ЗВУКОВЫХ ДВИЖЕНИЙ (приблизительно от 1860 до 1880 гг.). В начале шестидесятых годов оживился также интерес к *акустическим проблемам*, главным образом под влиянием исследования Гельмгольца, составившего в данном вопросе эпоху: «Die Lehre von den Tonempfindungen» («Учение о звуковых ощущениях») ¹, которое в промежутке времени от 1863 до 1877 г. вышло в четырех изданиях. Хотя эта работа, как показывает и самое ее заглавие, была предпринята скорее с физиологическими и музыкальными, чем с физическими, целями, но своим ясным и глубоким отношением к трактуемым вопросам она обогатила всю область акустики и, в конце концов, благотворно повлияла даже на чисто механическую часть этой дисциплины.

Гельмгольц делит все звуковые ощущения на *шумы* и *тоны*. Вторые вызываются быстрыми периодическими движениями звучащих тел, передаваемыми нашему органу слуха волнообразными движениями воздуха, шумы же возникают вследствие непериодических движений. Тон характеризуется тремя моментами: *силой, высотой и тембром*. Так как сила звука определяется величиной размаха колебаний, а высота тона — продолжительностью каждого колебания, то относительно тембра остается лишь предположить, что он зависит от *формы колебаний*. Различные формы колебаний (при равном размахе и продолжительности их) могут различаться друг от друга лишь *видом* движения в течение периода, различным характером нарастания и убывания скоростей в течение одного колебания. Наиболее простой формой колебаний является такая, при которой скорости колеблющихся частичек изменяются совершенно так же, как при качаниях маятника; поэтому их

¹ Гельмгольц стал разрабатывать эту тему в отдельных научных статьях, начиная еще с 1856 г. В популярной лекции 1857 г., прочитанной им в Бонне (родине Бетховена), „Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonie“, содержатся уже основные идеи этой работы (эта лекция напечатана в „Vorträge und Reden“, стр. 79, Braunschweig 1884).

называют «маятниковоподобными» колебаниями, или же, — так как смещение у колеблющейся точки от положения равновесия в любой момент

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t^1,$$

времени выражается формулой — также синусоидальными колебаниями. Все другие виды колебаний, при которых скорости возрастают до максимума иначе, чем в маятнике, или же при которых в течение периода наряду с абсолютным максимумом существует еще один или несколько относительных максимумов скоростей, можно представить себе происшедшими таким образом, как если бы частицам были сообщены простые колебания с числами колебаний, превышающими число колебаний результирующего сложного колебания в один, два, три и т. д. раз. Это было доказано Фурье в его работе «Théorie analytique de la chaleur» («Аналитическая теория теплоты»), где он показал, что всякое регулярное периодическое движение точки может быть представлено при помощи уравнения:

$$y = A_1 \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_1) + A_2 \sin \frac{4\pi}{T} (t - t_2) + A_3 \sin \frac{6\pi}{T} (t - t_3) + \dots$$

Там же им было доказано, что для каждого заданного периодического движения возможно только *единственное подобное разложение* на составные простые колебания и что, следовательно, при заданном сложном движении и составные его части задаются *однозначно*. То, что у Фурье имело чисто механический смысл, у Ома² получило акустическую интерпретацию. Согласно последней ухо воспринимает в качестве *простого тона* только тот звук, который вызван *простым синусоидальным колебанием*; все же прочие звуки разлагаются на тоны, которые соответствуют отдельным членам ряда Фурье и которые могут быть *различаемым в каждом отдельном случае и на слух как основные тоны и добавочные тоны (обертоны)*. В свое время Август Зеебек³ решительно оспаривал правильность этого объяснения, утверждая, что всем частным колебаниям, определяемым при помощи ряда Фурье, хотя бы они и имели свои собственные различные по величине периоды, все-таки присущ и общий период колебаний T ; поэтому он утверждал, что *ухо в действительности воспринимает только основной тон, соответствующий периоду T* . При этом он отметил, что, например, на сирене он никогда не слышал омовских обертонов или же слышал их настолько слабо, что это никак не согласуется с теорией. Он только

¹ Как известно, здесь A представляет амплитуду, T — продолжительность (полного) колебания, а t — время от момента выхода из положения равновесия, считая в положительном направлении.

² „Definition des Tones nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene“, „Pogg. Ann.“, LIX, стр. 497, 1843; LXII, стр. 1, 1844. С Омом был согласен и Дюгамель, который в 1848 г. пришел к следующим выводам: „Если колебательное движение точки разложить на несколько других, то движение этой точки будет восприниматься нашим ухом совершенно так же, как если бы на него воздействовало столько же точек, из которых каждая обладала бы одним из составляющих движений“ („Comptes rendus“, XXVII, стр. 455, 1848).

³ „Pogg. Ann.“, LX, стр. 499, 1843; LXIII, стр. 353 и 368, 1844; LXVIII, стр. 449, 1846.

допускал, что число членов и величины постоянных в ряде Фурье определяют, быть может, *характер звука* и, прежде всего его *тембр*. Теперь Гельмгольц доказал, что мысль Ома о сложном составе звуков была безусловно правильна и что последнее предположение Зеебека с ней вполне совместимо. А именно, во всяком звуке, наряду с основным тоном, существуют и отдельные обертоны, соответствующие ряду Фурье, которых, правда, без особого навыка и внимания наше ухо отдельно не различает, но которые придают основному тону *особый тембр*¹. Поэтому он постарался прежде всего доказать, что содержа-

¹ „Эту же мысль, а также несколько с ней связанных высказал немного раньше С. Брандт в небольшой статье размером в 11 стр. in octavo: „Über die Verschiedenheit des Klanges" („Pogg. Ann.", CXII, стр. 324—336). В подкрепление своей мысли он указывает на следующее: „Числа обертонов с их различным отношением силы и высоты дают достаточное количество элементов для объяснения различия тембров. Опытное ухо в состоянии даже отличить обертоны от основного тона, а также друг от друга, в звуке колеблющейся струны и в колебаниях воздушного столба. В звуках кишечных струн можно слышать только 7—8 обертонов, а в звуках металлических больше 13. Вероятно, металлический характер звука и объясняется этим соединением быстро следующих друг за другом высоких тонов. В звуках металлических духовых инструментов тоже наблюдается преобладание высоких обертонов по сравнению с звуками деревянных духовых инструментов. Этим же различием обертонов объясняется, вероятно, и различие гласных звуков, обертоны которых, начиная от *и* до *і*, с повышением тона становятся все сильнее. Но, пожалуй, еще убедительнее тот факт, что на одной и той же струне, приводя ее в колебания, в различных местах по ее длине можно добиться уничтожения некоторых обертонов, вследствие чего существенно изменяется характер тона (его тембр). Особенно обращают на себя внимание глухой, как бы пустой, тон при ударе посередине струны и резкий, „светлый" тон при ударе около конца струны. Нижеследующие примеры поясняют это всего лучше. Первый из них показывает обертоны

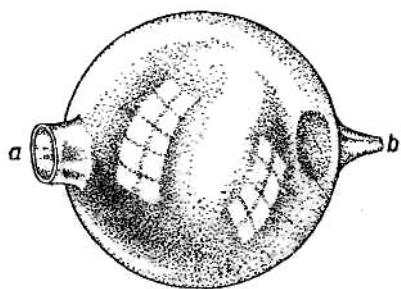


Черт. 14.

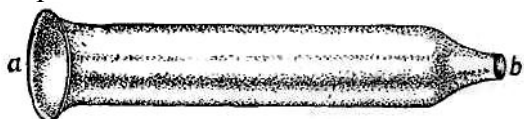
к большому *C*, полученные при ударе, делящем струну на несоизмеримые части; второй дает обертоны при ударе посередине струны; третий при ударе на расстоянии $\frac{1}{3}$ или $\frac{2}{3}$ ее длины; четвертый — при ударе на расстоянии $\frac{1}{4}$ или $\frac{3}{4}$ ее длины. Все эти ряды тонов были вполне согласованно получены как путем опыта, так и путем расчета (из ряда Фурье)". В противоположность Зеебеку Брандт слышал подобные обертоны и при звучании сирены. В примечании к своей статье Брандт говорит следующее: „Настоящая статья была мною написана летом 1865 г. в течение нескольких дней не с целью ее опубликования, а с тем, чтобы передать ее проф. Гельмгольцу. Этот ученый отозвался о ней одобрительно и сказал, что по его мнению, указание на связь между тембром и гласными звуками представляет наиболее интересную часть моей работы, которая заслуживает более детальной разработки. Несколько лет спустя после того как появилась его гениальная работа о тембре гласных, он через

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА 355

щимся в сложном звуке *простым тонам* соответствуют особые *механические действия* во внешнем мире, на основании которых можно установить их *объективную природу*, *независимо от человеческого уха* и его ощущений и независимо от теоретических соображений о разложении сложных колебаний на простые синусоидальные колебания. Для этой цели он воспользовался преимущественно явлениями *резонанса*; он показал, что натянутая перепонка может резонировать не только на звук, равный по высоте ее собственному тону, но и на звуки, в которых собственный тон мембраны содержится как *обертон*. Подобные же, хотя и более сложные отношения были им установлены и для струн и вообще для всех упругих тел. В качестве наиболее чувствительных приборов для исследования звуков на содержащиеся в них обертоны он предложил применять устроенные им *резонаторы*, т. е. стеклянные или металлические полые шары или трубки, изображенные на приложенных черт. 15 и 16. Если подобный резонатор вставить узким концом возможно плотно в ухо, то большинство тонов, раздающихся кругом, бывает слышно значительно более тихо, чем обычно, но зато обертон звука, соответствующий по своей высоте собственному тону резонатора, бывает слышен чрезвычайно громко. Эти приборы Гельмгольца дают возможность производить *анализ* сложного звука и лицам, не обладающим соответствующим навыком и лишенным музыкального слуха; благодаря этому теория тембра стала доступной для всякого ¹. Поэтому Гельмгольц считает доказанным, *что при помощи чисто механического средства, вроде резонирующего тела, из сложной звуковой массы может быть выделен любой*



Черт. 15.



Черт. 16.

профессора Ришело передал мне свое сожаление, что я не опубликовал своей статьи, и просил меня сделать это хотя бы теперь. Это пожелание я ныне и выполняю". Следует отметить, что и Гальда еще в 1851 г. высказал предположение, что различие тембров зависит, быть может, от обертонов, сопровождающих основной тон („Comptes rendus", XXXIII, стр. 503, 1851).

¹ Эти резонаторы Гельмгольц описал в работе „Über die Klangfarbe der Vocale", которая была доложена в заседании Баварской академии наук 2 апреля 1850 г. („Pogg. Ann.", CVIII, стр. 287, 1859). Брандт в упомянутой выше работе высказался очень сдержанно по вопросу о возможности различения обертонов: он полагал, что на это способно лишь очень музыкальное ухо, и выразил сожаление, что в силу этого обстоятельства данные вопросы интересуют лишь отдельных немногих лиц, почему и надежда на их разрешение очень слаба („Pogg. Ann.", CXII, стр. 336).

входящий в ее состав простой тон и что в звуке музыкального инструмента может содержаться любой простой тон совершенно в таком же смысле, в каком в составе белого цвета солнца или раскаленного тела содержатся различные цвета радуги. Исследовав затем в следующей главе вопрос о том, в какой мере наше ухо способно без помощи искусственных вспомогательных средств различать обертоны и воспринимать их отдельно от основного тона, он приходит к следующим выводам: 1) «Обертоны, соответствующие простым колебаниям в сложном движении воздуха, воспринимаются нами (перцепируются), хотя и не всегда доходят до сознания (апперцепируются); 2) они могут быть доведены до сознания, или апперцепированы, и без всякого искусственного средства, одним лишь надлежащим направлением внимания; 3) однако, и в том случае, когда обертоны отдельно не воспринимаются, а растворяются во всей звуковой массе, их существование в нашем ощущении выражается в изменении тембра звука, причем большая высота их тонов характерным образом выражается в том, что самый тембр кажется ярче и выше по тону»¹. Вместе с тем, однако, Гельмгольц считает необходимым несколько сузить понятие тембра по сравнению с распространенным неясным представлением о нем. Он определенно исключает из этого понятия многое такое, что до сих пор всегда ставилось с ним в связь, а именно, все те особенности звука, которые он приобретает при более или менее постепенном появлении или затухании тона, равно как все те сопутствующие шумы, которые подобно звукам согласных характеризуют тоны духовых инструментов и т. п. Таким образом, под музыкальным тембром он подразумевает только те особенности звука, которые соответствуют длительным равномерным и правильным периодическим движениям воздуха и которые, следовательно, могут быть объяснены только наличием обертонов.

После этого он переходит к детальному исследованию зависимости различных тембров от отдельных сопровождающих их обертонов, и результаты этих исследований формулирует в следующих положениях: «1) *Простые тоны*, каковы, например, звуки камертонов с резонирующими трубками и звуки широких закрытых органных труб, звучат очень мягко и приятно, без всяких хрипов, но слабо, а в низких тонах глухо; 2) *Сложные тоны*, в которых основной тон сопровождается умеренной силы *низшими обертонами* приблизительно до шестого,— звучат полнее и музыкальнее предыдущих. По сравнению с простыми тонами они богаче и красивее, но они остаются мягкими и благозвучными до тех пор, пока в них отсутствуют очень высокие обертоны. Сюда относятся звуки *фортепиано*, *открытых органных труб*, более мягкие *piano* человеческого голоса и *роговых* инструментов. Последние уже представляют собой переход к звукам с высокими обертонами, тогда как *флейты* и слабые звуки флейтового регистра в органе приближаются к простым тонам; 3) при наличии одних только *нечетных обертонов*, как это бывает в узких закрытых органных трубках, в струнах *форте-*

¹ „Die Lehre von den Tonempfindungen“, 4 изд., стр. 111—112, Braunschweig 1877.

пиано, ударяемых посредине, и в *кларнете*, звук становится *глухим*, а при большем числе таких обертонов — *гнусливым*. Когда основной тон преобладает по своей силе над обертонами, звук бывает *полным*, в противном случае он — *пустой*. Так, звук широких закрытых органнх трубок полнее, чем звук узких; звук струн бывает полнее при ударе фортепианным молоточком, чем при ударе палочкой или при щипке пальцем; тон язычковых инструментов при надлежащей надставке бывает полнее, чем без нее; 4) когда очень ясно слышны *высокие обертоны* дальше шестого или седьмого, то звук становится резким и шероховатым. Причина этого будет показана ниже при рассмотрении диссонансов, возникающих между высокими обертонами. Степень резкости звука может быть различной: при меньшей силе звука высокие обертоны не влияют существенно на музыкальность звука; они даже, наоборот, выгодны для характерности и выразительности музыки. Из этого вида звуков особенно важны звуки *смычковых инструментов*, большинство *язычковых трубок*, *гобоя*, *фагота*, *фисгармонии* и *человеческого голоса*. Более шероховатые резкие звуки *медных инструментов* производят впечатление большей силы по сравнению с подобными же, но мягкими по тембру звуками. Поэтому сами по себе они мало пригодны для воспроизведения художественной музыки, но производят очень сильное действие в оркестре. Каким образом высокие диссонирующие между собой обертоны придают звуку более пронзительный характер, об этом будет изложено ниже ¹». Но бесспорно наибольшее внимание обратил на себя в исследовании Гельмгольца блестящий успех произведенного им *синтеза гласных звуков* ². При помощи чрезвычайно остроумных приборов Гельмголец поддерживал в состоянии длительного колебания ³ ряд настроенных камертонов, а при помощи резонаторов он по желанию усиливал или ослаблял издаваемые ими тоны. Сначала он для своих опытов применял в качестве основного тона камертон с высотой тона *B*, а в качестве обертонов семь других камертонов с тонами *b*, *f'*, *b'*, *d''*, *f''*, *as''* и *b''*. Когда резонатор открывали перед камертоном *B*, слышалось глухое *U*; если одновременно с ним звучали *b* и *f'*, звук напоминал *U*, напеваемое басом. Гласная *O* получалась при слабом звучании *B*, сильном звучании *b* и одновременном слабом звучании *b'*, *f'* и *d''*. *A* или, правильнее, *A'* получалось при наиболее сильном звучании высших обертонов от пятого до восьмого. Для воспроизведения более высоких гласных Гельм-

¹ „Die Lehre von den Tonempfindungen", 4 изд., стр. 192—193.

² Rob. Willis [(1800—1875), духовное лицо, профессор физики] пытался в 1829 г. воспроизвести гласные звуки с помощью язычковых инструментов („Trans. of the Cambridge Phil. Soc.", III, стр. 231, 1829). В своем критическом отзыве об этих опытах Уитстон высказал мысль, что гласные звуки составлены из основного тона и обертонов („London and Westminster Review", October 1837).

³ Гельмголец применял для этой цели электромагнитный прерыватель, действие которого регулировалось камертоном, замыкавшим и размыкавшим ток наподобие молоточка Нефа. Благодаря этому звучание камертона могло поддерживаться неопределенно долгое время. С тою же целью Рудольф Кениг в 1866 г. присоединил к камертону часовой механизм, ход которого регулировался камертоном и который в свою очередь сообщал камертону толчок при каждом его колебании, благодаря чему движение последнего оставалось равномерным („Jahrb. d. Erfindungen", XVI, стр. 114).

358 АНАЛИЗ ГЛАСНЫХ ЗВУКОВ

гольцу пришлось прибавить еще четыре камертона с тонами d''' , f'' , as''' и b''' . Взяв тогда b в качестве основного тона, он получил гласную A при умеренно-сильном одновременном звучании b' и f'' и сильном звучании b'' и d''' . Для того чтобы звук A перевести в немецкое Ae , следует b' и f'' несколько усилить, b'' ослабить, а d''' и b''' взять возможно сильнее. Для E следует первые два наиболее низкие тона, b и b' взять умеренной силы, а высшие f'' , as'' и b''' взять возможно сильно. Что касается гласной I , то она и с этим набором камертонов еще не могла быть получена¹.

Помимо этого прекрасно удавшегося синтеза, анализ произносимых человеком гласных дал в свою очередь поразительный результат. А именно, Гельмгольц установил, что произносимые ртом гласные звуки образуются не обертонами, находящимися в постоянном отношении к основному тону, а обертонами, абсолютная высота которых не зависит от основного тона. Так, для гласной U характерен составной тон f ; для O — составной тон b' ; для A — b^2 ; для E — тоны b^3 и f ; для I — тоны d^4 и f . Гельмгольц объясняет это тем, что указанные обертоны не являются собственно обертонами звуков, образующихся в гортани, а представляют собой резонансные тоны полостей горла и рта, которые в произнесенном или пропетом звуке усиливают соответствующие им обертоны. А так как эти резонансные тоны полости рта в зависимости от высоты произносимой гласной могут приходиться как на первые, так и на последние ее обертоны, то становится понятным, почему определенные гласные на известные ноты произносятся легче, чем на другие. Хотя в общем, все согласны с приведенными объяснениями Гельмгольца, однако по вопросу об анализе гласных звуков другие исследователи пришли частично к иным, а порою и принципиально отличным результатам; однако ввиду существующего различия в произношении, а также ввиду влияния других побочных обстоятельств это представляется вполне естественным, равно как затруднительным является разрешение вопроса о том, на чьей стороне в данном случае истина. Уже сам Гельмгольц отметил, что измерения характерных для гласных тонов, произведенные до него, не вполне совпадают с результатами его исследований². После Гельмгольца Рудольф Кениг³ исследовал гласные аналогичным способом и тоже пришел к другим результатам, а именно,

¹ „Подобно гласным человеческого голоса, — говорит Гельмгольц, — могут быть воспроизведены и органые тоны различных регистров, если только в них нет слишком высоких побочных тонов; однако в воспроизведенном звуке нет тех шумов, которые дает воздух, рассекаемый губою трубки. Камертоны воспроизводят только музыкальную часть тембра. Для воспроизведения звуков языковых инструментов недостает резких высоких обертонов; но гнусливый звук кларнета можно воспроизвести с помощью ряда нечетных обертонов; мягкие же звуки рога получаются при одновременном звучании всего хора камертонов”.

² Первая работа Гельмгольца „Über die Klangfarbe der Vocale” появилась в „Pogg. Ann.”, CVIII, стр. 280, 1859; незадолго до этого Меркель („Anthropophonik”, Leipzig 1857) и более подробно Доидерс („Arch. f. holländ. Beitr. zur Natur- und Heilkunde”, 1858) исследовали резонансные тоны рта при произношении отдельных гласных.

³ „Comptes rendus”, LXX, стр. 931, 1870. — R. König (1832—1904 г.) — акустик-механик в Париже.

для пяти гласных *U, O, A, E* и *I* он нашел в качестве характерных обертонов пять октав, *b, b', b², b³ и b⁴*. В правильности этого ряда Кениг усматривает доказательство в пользу своего мнения, а в простоте этого отношения он видит физиологическую причину того, что во всех языках мы встречаем всегда примерно те же пять гласных, хотя человеческий голос способен создать бесконечное количество различных гласных. На основании многочисленных опытов фон-Цан¹ пришел к выводу, что всякий вообще гласный звук характеризуется не одной или двумя постоянными нотами, а гармоническим рядом более или менее далеко друг от друга отстоящих тонов. Наконец, Э. ван-Квантен² оспаривает постоянство характерных тонов в гласных звуках, утверждая, что более низкому основному тону соответствуют и более низкие характерные обертоны, более высокому — более высокие. Феликс Ауэрбах³ попытался занять в этом отношении среднюю позицию, утверждая, что в каждом гласном звуке содержатся два элемента — абсолютный и относительный, а новейшие работы Германа Грассмана⁴, равно как Флеминга Дженкина и Эвинга⁵, указывают на возможность примирения указанных противоположных взглядов на этой основе. Во всяком случае гельмгольцевское объяснение тембра гласных усилением определенных обертонов благодаря резонансу полости рта остается неоспоримым.

Идя дальше в развитии своей темы о тембре тонов, Гельмгольц затем находит, что различия музыкальных тембров зависят только от присутствия и силы составных тонов, но не зависят от разности их фаз; способность же уха разлагать сложные звуки на составные тоны он объясняет анатомическими его особенностями и, прежде всего устройством так называемого кортиева органа. Этим заканчивается глава о природе отдельных звуков, и затем Гельмгольц переходит к исследованию одновременного действия нескольких звуков. При одновременном звучании двух тонов различной высоты получаются эффекты двоякого рода, а именно — биения, или толчки, и комбинационные тоны. Раньше считали, что между этими двумя явлениями существует лишь степенное различие, так что биения, при достаточной частоте, должны ощущаться как комбинационные тоны. Но Гельмгольц показал, что между этими явлениями существует основное различие. Биения представляют собой чисто интерференционное явление. Когда две волны с одинаковым периодом колебаний встречаются в различных фазах, то, в зависимости от различия фаз, они взаимно усиливают или ослабляют друг друга. Такое изменение сохраняется в постоянном виде, и воспринимаемый нами тон остается неизменным. Если же встречаются волны с различными периодами, то они, в зави-

¹ „Osterprogramm der Thomasschule in Leipzig“, 1871, обзор в „Jahrb. d. Erfind.“, VII, стр. 93, 1871. — v. Zahn — профессор математики в Лейпциге.

² „Pogg. Ann.“, CLIV, стр. 272 и 522, 1875.

³ „Pogg. Ann.“, дополнительный том VIII, стр. 177. — F. Auerbach (родился в 1856 г.) — профессор физики в Бреславле.

⁴ „Wied. Ann.“, 1, стр. 608, 1877.

⁵ „Nature“, XVIII, стр. 340, 394, 454, 1878. — Дженкин и Эвинг применяли в своих исследованиях сильно увеличенные кривые, полученные с помощью фонографа.

360 РАЗНОСТНЫЕ И СУММОВЫЕ ТОНА

симости от отношения числа колебаний, периодически то усиливают, то ослабляют друг друга, и наше ухо воспринимает эти усиления и ослабления как толчки или биения. Для этих биений имеет силу закон, установленный уже Гэллстремом ¹. Число биений в определенный промежуток времени равно разности чисел колебаний обоих тонов за то же время. Хотя комбинационные тоны, известные уже с давнего времени, и следуют тому же закону, тем не менее происхождение их все-таки нельзя сводить к биениям. Помимо этого вида комбинационных тонов, которые Гельмгольц, согласно закону Гэллстрема, назвал *разностными* тонами, он нашел еще новый вид комбинационных тонов, названный им *суммовым* тоном, так как число их колебаний равно сумме чисел колебаний тонов, которые их вызывают ². Вообще же *причины* возникновения комбинационных тонов сводятся, по его мнению, к следующему: «До сих пор всегда принимали, что различные звуковые волны, возбужденные в воздухе или в другой упругой среде, просто складываются, не оказывая друг на друга никакого влияния; это допущение считали в достаточной мере доказанным тем фактом, что при одновременном звучании музыкальных инструментов или человеческих голосов мы в состоянии различать в отдельности каждый инструмент или голос со свойственными им высотой и тембром. Но, с другой стороны, следует принять во внимание, что возможность такого простого сложения волн теоретическая механика доказала лишь для *бесконечно малых колебаний*; между тем из уравнений движения воздуха можно усмотреть, что при колебаниях с конечной величиной амплитуд такое простое сложение не может иметь места. Теоретическое исследование случаев последнего рода мне показало, что различные простые колебания упругого тела накладываются беспрепятственно друг на друга до тех пор, пока амплитуды колебаний настолько малы, что вызванные смещениями движущие силы примерно пропорциональны самим смещениям. *Но когда амплитуды колебаний возрастают настолько, что квадраты смещений уже заметно влияют на величину движущих сил, то возникают новые системы простых колебательных движений, периоды которых соответствуют периодам известных комбинационных тонов*» ³. Комбинационные тоны слышны лишь тогда, когда два музыкальных тона различной высоты звучат одновременно *сильно* и равномерно. Но в этом именно случае результирующее движение нельзя, как при интерференции, рассматривать как простую алгебраическую сумму составных движений, — при рассмотрении его следует непосредственно обращаться к действующим силам. Силу, которая при подобных условиях после смещения массы m в упругой

¹ См. стр. 254 первого выпуска настоящей части.

² Работа о *комбинационных тонах* была первой оригинальной работой Гельмгольца по акустике (до тех пор он давал лишь обзоры по акустике в „Fortschr. der Physik“ за 1848 и 1849 гг.). Первое сообщение было им сделано в Берлинской академии наук 22 мая 1856 г.; подробная статья была помещена в „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 497, 1856. Там сказано: „Хотя, таким образом, причины воспринимаемых нами комбинационных тонов, с точки зрения их высоты, могут быть подведены под действие закона Гэллстрема, тем не менее их порядок и условия их возникновения остаются еще под сомнением“ (стр. 500).

³ „Pogg. Ann.“, XCIX, стр. 531—532; „Wiss. Abhandl.“, I, стр. 295

ТЕОРИЯ КОМБИНАЦИОННЫХ ТОНОВ 361

среде на расстояние x стремится вернуть ее в положение равновесия, Гельмгольц принимает равной $ax+bx^2$. Если при этом на одну и ту же точку действуют две системы волн с силами $f\sin(pt)$ ¹ и $g\sin(qt+c)$, то уравнение ее движения приобретает следующий вид:

$$-m \frac{d^2x}{dt^2} = ax + bx^2 + f \sin(pt) + g \sin(qt+c).$$

Это уравнение можно проинтегрировать с помощью ряда, если положить

$$x = \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \varepsilon^3 x_3 + \dots,$$

$$f = \varepsilon f_1,$$

$$g = \varepsilon g_1,$$

и затем, после приведения, приравнять поочередно нулю все коэффициенты при различных степенях ε . Тогда получается:

$$ax_1 + m \frac{d^2x_1}{dt^2} = -f_1 \sin(pt) - g_1 \sin(qt+c), \quad (1)$$

$$ax_2 + m \frac{d^2x_2}{dt^2} = -bx_1^2, \quad (2)$$

$$ax_3 + m \frac{d^2x_3}{dt^2} = -2bx_1x_2 \text{ и т. д.} \quad (3)$$

Из уравнения (1) получается путем интегрирования, если положить:

$$\frac{f_1}{mp^2-a} = u \quad \text{и} \quad \frac{g_1}{mq^2-a} = v,$$

$$x_1 = A \sin\left(t\sqrt{\frac{a}{m}} + b\right) + u \sin(pt) + v \sin(qt+c).$$

Это — знакомый результат для бесконечно малых колебаний; в нем выражены три тона: собственный тон точки m и оба сообщенных ей тона с числами колебаний p и q . Так как собственный тон быстро затухает, то A можно положить равным нулю; тогда путем подстановки x_1 в уравнении (2) получаем:

$$\begin{aligned} x_2 = & -\frac{b}{2a}(u^2+v^2) - \frac{u^2}{2(4mp^2-a)} \cos(2pt) - \\ & - \frac{u^2}{2(4mq^2-a)} \cos 2(qt+c) + \frac{uv}{m(p-q)^2-a} \cos[(p-q)t+c] - \\ & - \frac{uv}{m(p+q)^2-a} \cos[(p+q)t+c]. \end{aligned}$$

¹ Из приведенного на стр. 353 уравнения $y=A\sin(2\pi/T)t$ получается путем дифференцирования совершенно тождественное по форме уравнение для силы колебания.

362 ПРИЧИНА СОЗВУЧИЯ И ДИССОНАНСА

Таким образом, второй член ряда для x содержит, кроме одной постоянной величины, тоны с числами колебаний $2p$, $2q$, $(p-q)$ и $(p+q)$, т. е. первые обертоны p и q , а также первый разностный и первый суммовой тоны тех же тонов. Амплитуды этих комбинационных тонов пропорциональны произведению uv , и, следовательно, при малых амплитудах первичных тонов они представляют собою малые величины второго порядка и возрастают с амплитудами первичных тонов в отношении квадратов. Отсюда понятно, почему при слабых первичных тонах комбинационные тоны не слышны и почему суммовой тон всегда слабее разностного. Путем разложения высших членов x_3 , x_4 и т. д. можно дальше аналогичным образом получить высшие обертоны, а также комбинационные тоны высших порядков¹.

Построив, таким образом, теорию комбинационных тонов на новых основаниях и совершенно отделив их от биений, Гельмгольц в соответствии с этим показал, *что последние ощущаются нами как толчки, даже и в том случае, когда их частота далеко перешагнула через нижнюю границу нашего звукового восприятия*. Правда, когда их частота становится больше чем 39 в секунду, толчки уже не воспринимаются каждый в отдельности, но их действие проявляется в том, что звук становится *неровным, дребезжащим, шероховатым*. Интересно, что граница восприятия биений зависит не только от их числа, но также и от соответствующих интервалов тона. Так, например, полутон в верхней октаве дает еще ясные биения, тогда как малая терция в нижней октаве их не дает, несмотря на то, что в первом случае биения следуют друг за другом гораздо чаще, чем во втором. Гельмгольц объясняет это явление тем обстоятельством, что биения бывают слышны лишь в том случае, когда возбужденные концы нервов в кортиевоу органе лежат близко друг от друга, т. е. когда соответствующий интервал тонов не превышает известного предела².

Быстрые биения дают возможность еще глубже проникнуть в особенности наших звуковых ощущений. Всякое прерывистое раздражение наших нервных аппаратов возбуждает их сильнее, чем длительное равномерное раздражение. Подобно тому как мерцающее пламя уто-

¹ „Tonempfindungen“, 4 изд., стр. 650.

² Открытие суммовых тонов Гельмгольцем было экспериментально подтверждено в 1876 г. Рудольфом Кенигом. Он воспроизводил суммовые тоны (дабы исключить возможность объяснения их разностными тонами высшего порядка между обертонами) при помощи камертонов, дававших почти чистые тоны. Только в одном пункте, по его мнению, теория Гельмгольца требует поправки. А именно, с помощью своих изолированных камертонов с возможно простыми тонами он показал, что при относительно малой частоте биения действительно сообщают тону известную шероховатость; однако с увеличением частоты биения, по его мнению, переходят в *тоны* и, больше того, *в виде тонов ощущаются вообще всякие прерывы, например колебания в силе, если только они были достаточно часты* („Pogg. Ann.“, CLVII, стр. 177, 1876). Гельмгольц не согласился с мнением Кенига; тем не менее последний продолжал настаивать на своей точке зрения и в 1881 г. („Wied. Ann.“, XII, стр. 335) в новой большой работе пытался доказать ее правильность. Позднее, в 1885 г., Роберт Вебер вновь подтвердил законы Гельмгольца о разностных и суммовых тонах при помощи устроенного им аппарата, который он назвал электрической сиреной („Wied. Ann.“, XXIV, стр. 671, 1885).

мляет и раздражает глаз, так и интервалы, вызываемые быстрыми биениями, неприятны для уха. *Поэтому подобные интервалы, образующие спутанную массу тонов, трудно разложимую на элементы, ощущаются нами как диссонансы, тогда как интервалы, тоны которых следуют друг за другом равно, без биений, дают ощущение созвучия.* Ввиду специально физического характера настоящего сочинения и за недостатком места мы не можем здесь входить в описание того, каким образом Гельмгольц дальше на основании биений между первичными тонами, между обертонами и комбинационными тонами устанавливает условия созвучия и *аккорда* и затем на этой базе строит основные законы *гармонии*. Однако уже из приведенного можно видеть, какое большое значение имеет работа Гельмгольца и для физики в тесном смысле. Гельмгольц блестяще показал на примере и, пожалуй, более ясно и сознательно, чем когда-либо раньше до него, *каким образом физика может свести особенности наших ощущений, их различия по силе и по качеству, к движениям или к изменениям движений и, таким образом, сделать величины ощущений доступными даже для математической обработки.*

В этом отношении сочинение Гельмгольца, которое, вообще говоря, как будто стоит в стороне от общего русла новейшей физики, вплотную приближается к осуществлению ее цели, заключающейся в том, чтобы свести все явления природы к движениям. Что касается того обстоятельства, что в конце своего труда Гельмгольц ставит себе как натуралисту известную границу и исключает из своей задачи все, что относится к *музыкальной эстетике*, поскольку в этой области действуют психические моменты, — то здесь он дает пример научной сдержанности, который можно смело рекомендовать многим психологам и философам.

Результаты усиленного внимания, оказанного Гельмгольцем сложению музыкальных тонов, а вместе с тем и сложению колебаний и волновых движений, скоро проявились в быстром конструировании и усовершенствовании приборов, предназначенных для *разложения сложных звуков*, причем, идя навстречу требованиям времени, при этом стремились также и к *объективному наглядному изображению* этих явлений. Прежде, когда речь шла, главным образом, о том, чтобы облегчить понимание волнообразного движения, строились приборы, показывавшие наглядно процессы колебания и распространения волн, а также их сложение. Так, И. Г. Мюллер в 1846 г. применял стробоскопический диск, или «колесо жизни», для демонстрирования колебательных и волновых движений с помощью специально для этой цели нарисованных шаблонов ¹. Около того же времени Уитстон построил волновую машину, открывшую собою серию приборов, в которых ряд иголок или маятников с блестящими головками принимал форму определенной волны путем перемещения под ними или путем наложения на них моделей волн. Из чисто последних особенно был известен усовершенствованный прибор Фесселя; после этого подобные машины, с различными усовершен-

¹ „Pogg. Ann.“, LXVII, стр. 271. 1846.—Joh. Heinrich Jac. Müller (1809—1875)— профессор физики во Фрейбурге (Баден).

364 ФОНОСКОПЫ И ФОНОГРАФЫ

ствованиями для наглядного изображения или даже для создания новых комбинаций волн, продолжали конструироваться вплоть до новейшего времени ¹. Но наряду с устройством подобных волновых моделей усердно занялись устройством и таких приборов, которые давали бы возможность непосредственно наблюдать отдельные колебания и их составные элементы, достигая при этом возможно большей точности. С целью изучения колебаний струн Томас Юнг ² обматывал их серебряной нитью и рассматривал в темной комнате, направляя на избранную точку струны сильный пучок света. По существу аналогичный метод применил в 1855 г. Лиссажу ³ для наблюдения сложения колебаний и для сравнения этим путем колебаний исследуемого тела с нормальными колебаниями другого тела. С этой целью он снабжал оба колеблющихся тела, обыкновенно два камертона, колебания которых он хотел сложить или сравнить, двумя маленькими зеркальцами и затем направлял сильный пучок света таким образом, что, упав на одно из зеркалец, он отражался от другого, а затем падал на экран. Обыкновенно Лиссажу устанавливал колеблющиеся тела таким образом, что плоскости их колебаний были перпендикулярны друг к другу; тогда при колебаниях в унисон на экране получался светлый эллипс, а при других соотношениях тонов получались более сложные фигуры, которые получили название фигур Лиссажу. Для более точного, хотя и субъективного наблюдения этих фигур он заменял зеркальце на сравниваемом теле объективом маленькой зрительной трубки; луч, отраженный от первого вибрирующего тела, проходил через этот колеблющийся объектив, а затем через неподвижный окуляр попадал в глаз наблюдателя. Гельмгольц при своих исследованиях применил такой же прибор в не-

¹ Фессель узнал от Плюкера об устройстве машины Уитстона („Pogg. Ann.“, LXXVIII, стр. 421, 1851). Форономическая волновая машина Маха (Carl's Repert. f. Experimentalphysik, VI, стр. 8, 1871) служит для демонстрирования распространяющихся стоячих волн как поперечных, так и продольных. Мельде устроил прибор („Pogg. Ann.“, юбил. том, стр. 101, 1874) для получения волновых поверхностей. Пфаундлер очень остроумно приспособил старый прибор с иглами для сложения любого числа волнообразных линий, лежащих в одной и той же плоскости („Tageblatt der 60 Naturforscherversammlung“, стр. 82, Wiesbaden 1887).

² „Outlines of exp. and inquiries resp. sound and light“, „Phil. Trans.“, 1800 перепечатано в „Lect. on natur. phil.“, II, 1807. Согласно утверждению Писко („Die neueren Apparate der Akustik“, стр. 116, Wien 1865) Ф. Г. фон-Буссе и Хладни производили подобные наблюдения еще до Юнга.

³ „Comptes rendus“, XLI, стр. 93, 814 и др., подробно в „Ann. de chim. et de phys.“ (3), LI, стр. 147, 1857. Калейдофон (состоявший из упругих палочек, укрепленных одним концом неподвижно и снабженных блестящими сферическими пуговками на других свободных концах), описанный Уитстоном в 1827 г., был устроен по принципу Юнга, но с научной точки зрения не имел большого значения. Лишь в 1862 г. Мельде превратил его в универсальный калейдофон, с помощью которого можно очень удобно показывать сложение любых взаимно перпендикулярных колебаний. В этой конструкции он состоит из упругой, на одном конце неподвижно укрепленной пластинки, к другому концу которой прикрепляется меньшая пластинка таким образом, чтобы плоскость ее была перпендикулярна к плоскости первой. Последняя пластинка может перемещаться с помощью скобы и на верхнем конце имеет блестящую пуговку („Pogg. Ann.“, CXV, стр. 118, 1862). — Jul. Ant. Lissajous (1822—1880) — профессор физики в Париже.

сколько измененном виде в качестве *вибрационного микроскопа*. Лиссажу использовал свой прибор для подробного изучения сложения колебаний и тонов, а главным образом для проведения порученной ему во Франции проверки нормальных камертонов, для которых в 1859 г. там было установлено нормальное a в 870 (половинных) колебаний¹. Для наблюдения *воздушных колебаний пуховых инструментов* и для настройки их, конечно, нельзя непосредственно применить метод Лиссажу; для этой цели следует сообщить эти колебания сначала каким-нибудь твердым телам, лучше всего *тонким перепонкам*. Подобным приемом впервые воспользовался в 1859 г. Э. Скотт; однако он совершенно отказался от световых фигур Лиссажу и предпочел регистрировать колебания перепонки прямо при помощи присоединенного к ней *пишущего штифта*. Правда, этот *графический* метод не был придуман самим Скоттом, его уже раньше неоднократно применяли в различных видах. В 1830 г.² В. Вебер наносил колебания камертона на закопченное стекло, слегка проводя по последнему камертоном, к одной из ножек которого было прикреплено упругое острие. Дюгамель установил упругие острия, прикрепленные к колеблющимся струнам и прутьям, таким образом, что они слегка касались закопченной поверхности цилиндра, который приводился во вращение рукояткой около оси с винтовой нарезкой³. Количество гребней и впадин звуковых волн, получавшееся при этой записи, давало абсолютное число колебаний за соответствующий промежуток времени. Конечно, и обратно, если наперед известно число колебаний тела в секунду, можно по числу вычерченных на барабане колебаний определить величину соответствующего промежутка времени. Таким образом, графические виброскопы можно было применить в качестве хроноскопов и это именно обстоятельство сильно содействовало их усовершенствованию. Вертгейм⁴ применил при своих исследованиях метод Дюгамеля но, найдя, что вращение цилиндра недостаточно равномерно, а следовательно, и измерение времени недостаточно точно, он присоединил к прибору *нормальный пишущий камертон*, дававший 256 колебаний в секунду. При помощи этого

¹ По Лиссажу („Cosmos", VI, стр. 598, 1855). Совер принял для тона a 810 колебаний; Делезенн (1808 г.) — 853 — 880; по Шейблеру a Парижской оперы имело в 1834 г. 867,5, a консерватории — 870 колебаний; но в 1855 г. a Парижской оперы давало 898, Лилльской оперы — даже 901 колебание. Законом 16 февраля 1859 г. было установлено нормальное a для Франции в 870 колебаний.

² „Schilling's musikalisches Lexikon", т. I, статья В. Вебера „Akustik", Stuttgart 1830; по Pisko, „Die neueren Apparate der Akustik", стр. 238.

³ „Comptes rendus", XI, стр. 15, 1840; „Pogg. Ann.", LVII, стр. 392. Дюгамель отмечает, что уже Уатт и позднее Эйтельвейн записывали таким образом движения и что он сам придумал этот способ уже 15 лет назад. Писко („Die neueren Apparate", стр. 238) утверждает, что в College de France среди старых приборов имеется подобный цилиндр для записывания, с которым работал при своих опытах Савар, и высказывает предположение, что идея этих приборов принадлежала Савару. Однако, как видно из сказанного выше, это предположение мало вероятно.

⁴ „Comptes rendus", XV, стр. 112, 1842; „Pogg. Ann.", LVII, стр. 382; в статье „Recherches sur l'élasticité et la tenacité des métaux".

366 ХРОНОГРАФЫ

усовершенствованного прибора он, по его словам, получил возможность измерять время с точностью до $\frac{1}{2560}$ сек.¹

Однако мысль о превращении виброскопов в приборы для измерения времени стала планомерно проводиться лишь позднее, и идея *хроноскопии* получила толчок совсем с другой стороны. Пуллье в 1844 г. попытался наладить измерение очень малых промежутков времени следующим образом: он допустил, что при *очень кратковременном замыкании тока* отклонение стрелки гальванометра пропорционально продолжительности тока, и по показаниям гальванометра судил о длительности тока. В том же году Брегэ² описал другую форму хроноскопа, который он разработал совместно с русским артиллерийским офицером Константиновым. На цилиндр, равномерно вращающийся около горизонтальной оси, в начале и конце движения опускались при помощи электрического тока металлические штифты, которые и отмечали соответствующие моменты времени. Статья Брегэ вызвала возражение со стороны Уитстона³, который, заявляя о своем первенстве в этом изобретении, указал, что такого типа приборы он послал в 1840 г. Брюссельской академии наук, а в 1842 и 1843 гг. — Константинову. Различие между этими приборами заключалось, по его словам, лишь в следующем: Уитстон заметил, что штифты падают на цилиндр не в надлежащие моменты, поэтому он оставил свою первоначальную идею и устроил прибор таким образом, что штифт писал на цилиндре, вращающемся около оси с винтовой нарезкой, сплошную спиральную линию, которая в нужные моменты прерывалась⁴. Вернер Сименс⁵ вместо штифта воспользовался для отметок *электрическими искрами*, которые перескакивали на цилиндр и не влияли на равномерность его хода. Но так как в дальнейшем выяснилось, что и часовой механизм, которым был снабжен цилиндр, не обеспечивает достаточно равномерного хода аппарата в течение продолжительного времени, то Гипп в 1848 г.⁶ усовершенствовал уитстоновский хроноскоп, устроив таким образом, что часовой механизм каждую секунду спускал на цилиндр второй штифт, который делал там отметку; таким образом, нормальный промежуток времени, с которым надлежало сравнивать измеряемые отрезки времени, был ограничен одной секундой. После этого перешли к тому, что на цилиндре наряду с началом и концом изучаемого явления стали регистрировать еще значительно меньшие промежутки времени; для этой

¹ „Comptes rendus“, XIX, стр. 1384, 1844; „Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 452. По Поггендорфу („Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 466) до Пуллье подобные же методы измерения времени применяли Морен, Дюпрэ и др. Якоби заявил, что приоритет в данном изобретении принадлежит ему, а не Пуллье (см. также Fortschr. der Physik im Jahre 1845“, I, стр. 46).

² „Note sur un appareil destiné à mesurer la vitesse d'un projectile“, Comptes rendus“, XX, стр. 157, 1845; „Pogg. Ann.“, LXIV, стр. 459. — Louis François Clément Breguet (1804—1883), внук знаменитого часовщика А. Л. Брегэ и его преемник по фирме, член академии и Бюро долгот в Париже.

³ „Comptes rendus“, XX, стр. 1554, 1845; „Pogg. Ann.“, LXV, стр. 451.

⁴ Сам Уитстон приписывает идею этого прибора Томасу Юнгу, высказавшему ее в его „Lectures on nat. phil.“

⁵ „Pogg. Ann.“, LXVI, стр. 435, 1845.

⁶ Там же, LXXIV, стр. 589, 1848.

ФОНАВТОГРАФ 367

цели на цилиндре стали наноситься одновременно колебания нормального камертона. На этом именно принципе устроили свои *хроноскопы* Лаборд ¹, В. Беетц ², И. Г. Мюллер ³ и особенно удачно Р. Кениг ⁴. На первых порах *измерительный камертон* приводился в движение просто смычком, но затем Беетц стал для этой цели применять электромагнитную установку Гельмгольца, при которой он мог получать колебания любой продолжительности. С этой же целью Кениг в приборах более простого устройства применял кроме пишущего камертона еще второй камертон с равным числом колебаний; последний он приводил в движение с помощью смычка, а благодаря резонансу приходил в колебание и пишущий камертон; эта установка давала более равномерные колебания пишущего камертона. Начало и конец определенного промежутка времени по-прежнему отмечались при помощи искры или при помощи автоматически падающих штифтов с остриями.

И упомянутый выше *пластинчатый фонограф Скотта* ⁵, или *фонавтограф*, как его называл сам Скотт, тоже получил в это время большое значение, правда, не столько сам по себе, сколько благодаря приборам, которые были построены на том же принципе. Фонавтограф состоял из полого гипсового сосуда эллипсоидальной формы, в одном фокусе которого помещалось звучащее тело, а в другом находилась мембрана, воспринимающая звуковые колебания. Прикрепленный к наружной поверхности последнего небольшой штифт записывал колебания перепонки на вращающемся цилиндре. Кениг усовершенствовал этот прибор только в том отношении, что он придал воспринимающему сосуду параболическую форму, а в качестве материала для сосуда взял цинк; новый очень интересный метод наблюдения воздушных колебаний с помощью мембран он применил при устройстве своих известных *манометрических пламен*. Манометрическое пламя получалось при горении газа, вытекающего из сосуда, одна стенка которого состояла из упругой перепонки; когда на эту перепонку падали звуковые колебания, это вызывало соответствующие колебания пламени. Кениг сначала ставил манометрическое пламя в узлах звучащих органнх трубок для того, чтобы сделать видимыми происходящие там попеременно сгущения и разрежения воздуха ⁶; но затем он соединил его с воспринимающей частью фонавтографа для того, чтобы с помощью манометрического пламени изучить различные звуковые колебания ⁷. *Вращающиеся зеркала*, примененные Кенигом для наблюдения колебаний пламени, принадлежит по своей идее Уитстону ⁸, который уже в 1834 г.

¹ „Cosmos“, XVII, стр. 48 и 156, 1860.

² „Pogg. Ann.“, CXXXV, стр. 128, 1868.

³ Там же, CXXXVI, стр. 151, 1869.

⁴ Акустические приборы Кенига возбудили большой интерес на всемирных выставках в Лондоне (1862 г.) и Париже (1867 г.); они описаны в его „Catalogue des appareils d'acoustique“, Paris 1865. См. также F. I. Pisco, „Die neueren Apparate der Akustik“, Wien 1865.

⁵ „Cosmos“, XIV, стр. 314, 1859.

⁶ „Cosmos“, XXI, стр. 147, 1862; „Pogg. Ann.“, CXXII, стр. 242.

⁷ Акустический каталог, 1865; ср. Pisco, „Die neueren Apparate der Akustik“, стр. 197 и далее.

⁸ „Phil. Trans.“, стр. 583, 1834.

при своих работах по измерению скорости электричества *производил при помощи таких зеркал анализ движения пламени*; позднее с этой же целью Тиндаль ¹ применил трехгранную призму с зеркальными сторонами, которая, будучи подвешена на нити, вращалась вследствие раскручивания этой нити. *Манометрическое пламя Кенига* представлялось сначала по сравнению с фонавтографом скорее интересной физической игрушкой, чем научным измерительным прибором, однако очень скоро оно стало применяться с большим успехом для изучения гласных звуков, хотя этот метод и оказался не вполне надежным, фон-Цан ² при своих упомянутых выше исследованиях нашел, что для анализа высших гласных звуков изображения этих пламен могут *дать лишь немного*, и высказал мысль, что этот пробел может быть восполнен фотографированием этих изображений, благодаря чему и представится возможность спокойно производить количественные измерения. Ауэрбах ³ при изучении гласных, помимо манометрического пламени применил еще два других способа и получил, таким образом, возможность выяснить их сравнительные достоинства. Сначала он считал способ Кенига, ввиду объективности и четкости даваемых им изображений, наилучшим, но затем убедился, что изменчивость давления газа, вращение зеркала и в особенности свойства перепонки, передающей колебания, заметно влияют на форму пламени. После этого он стал применять для этой цели резонаторы, покрывая отверстие их узкого конца, вставляемого обычно в ухо, мыльной пластинкой и наблюдая колебания последней по старому методу Лиссажу с помощью световых зайчиков ⁴. И все-таки, в конце концов, обычный субъективный анализ звуков на слух при помощи резонаторов пришлось признать наиболее надежным. Однако позднее Г. Грассман ⁶ указал, что и резонаторы изменяют первоначальное соотношение сил отдельных тонов, и признал недостаточным все вообще искусственные средства для анализа гласных звуков.

В еще более непосредственной связи с фонавтографом, чем регистрация пламенем, находятся *фонограф Эдисона и телефон* — аппараты, которые, конечно, могли бы быть и прямо сконструированы, исходя из устройства нашего слухового органа, и, вероятно, в конечном счете, построены на этом принципе. О телефоне у нас будет речь ниже; об *эдисоновском же фонографе* мы здесь заметим только, что он впервые был описан 22 декабря 1871 г. в «Scientific American», XXXVII,

¹ „Philosophical Magazine" (4), XIII, стр. 473.

² „Jahrb. d. Erfindung.", VII, стр. 93 1871.

³ „Pogg. Ann.", дополнительный том VIII, стр. 177.

⁴ Около этого же времени Фр. Мельде исследовал поперечные колебания жидких пленок и установил для них следующий закон. При равных площадях пленок, края которых имеют форму правильных многоугольников, числа колебаний их тем меньше, чем больше сторон в многоугольнике. Кроме того, из небольшого числа опытов, по-видимому, вытекало, что у различных жидкостей числа колебаний относятся между собой, как корни квадратные из их поверхностных натяжений („Pogg. Ann.", CLIX, стр. 275, 1876; в его „Akustik", стр. 131, Leipzig 1884; здесь, однако, Мельде не упоминает о втором законе). — Fr. E. Melde (родился в 1832 г.) — профессор физики в Марбурге.

⁵ „Wied. Ann.", I, стр. 606, 1877.

ФОНОГРАФ ЭДИСОНА 369

стр. 384 и 11 марта 1878 г. был продемонстрирован (впервые на нашем континенте) перед Парижской академией наук. Хотя по существу он представляет собою не что иное, как фоноавтограф Скотта, приспособленный для использования его в обратном направлении, однако для осуществления этого аппарата потребовались, период времени в 20 лет и работа первоклассного изобретательского гения.

Аппараты, в которых колебания воздуха передаются перепонкам и, обратно, распространяются последними, до известной степени разрешили старый спор о *колебаниях упругих пластинок*. Савар¹ утверждал, что перепонка способна воспринимать *любые* тоны, высота которых выше собственного ее тона, и с этой точки зрения объяснял функции нашей *барабанной перепонки* в процессе восприятия звука. Однако Пуассон² и Ламе³ теоретически, а Ж. Бургэ и Ф. Бернар⁴ также и экспериментальным путем пришли к иным выводам. В 1862 г. Радо⁵ снова высказался в пользу прежнего мнения, согласно которому упругие пластинки могут воспроизводить лишь *отдельные* свойственные им, в соответствии с их величиной, массой и т. п., основные тоны и обертоны.

Однако приведенные выше аппараты вполне определенно показали, что при известных условиях перепонки способны воспроизводить любые тоны, хотя они и изменяют тембры и свойства тонов. В соответствии с этим взглядом Эльзас⁶ прямо показал, что всякое упругое тело при надлежащем воздействии может давать любой вид колебаний, но только, в зависимости от расстояния между вынужденным тоном и тоном собственного колебания тела, воздействие на тело должно быть более или менее сильным и интенсивность самого вынужденного колебания бывает больше или меньше.

Газовое пламя оказалось чувствительным к воздушным колебаниям еще и в другом, более свободном виде, чем в виде манометрического пламени Кенига. Шаффготш в 1857 г.⁷ открыл в загадочной *химической гармонике* новые удивительные свойства и этим значительно оживил интерес к данному явлению. А именно, он заметил, что если поблизости от пламени химической гармоники возбуждается музыкальный тон, который звучит (приблизительно) в унисон с тоном гармоник или на октаву выше, то пламя приходит в возбуждение, сильно колеблется вверх и вниз, а при достаточной силе внешнего звука даже гаснет. При высоких собственных тонах гармоник сильные фальцетные ноты человеческого голоса заставляли ее умолкнуть на расстоянии в 10—12 шагов; того же можно было достичь хлопаньем в ладоши и другими шумами; а сильный органнотон действовал на пламя, уси-

¹ „Ann. de chim. et de phys." (2), XXXII, стр. 384, 1823.

² „Mém. de l'acad.", VIII, стр. 510, 1829.

³ „Leçons s. l'élasticité", стр. 131, 1852.

⁴ „Ann. de chim. et de phys." (3), X, стр. 449, 1860.

⁵ „Cosmos", XX, стр. 658 и XXI, стр. 533, 1862.

⁶ „Wied. Ann.", XIX, стр. 174, 1883. — A. Elsas (родился в 1855 г.) — доцент в Марбурге.

⁷ „Pogg. Ann.", C, стр. 352, 1857; CI, стр. 471, 1857. — Franz. G. J. J. C. Graf Schaffgotsch (1816—1864), Берлин.

370 ХИМИЧЕСКАЯ ГАРМОНИКА

ливая или туша его, даже на расстоянии в 44 м¹. После этого Тиндаль на опытах с сиреной установил зависимость данного явления от высоты внешнего тона и собственного тона пламени². Когда тон сирены постепенно приближался к тону пламени, начиная с более низких нот, то пламя колебалось все медленнее и медленнее и, наконец, колебания его прекращались, когда оба тона сравнивались; при дальнейшем повышении внешнего тона колебания снова постепенно учащались и, наконец, становились незаметными. Таким образом, пламя своими движениями оптически воспроизводило акустические биения обоих тонов. При известной высоте трубки пламя звучало всего легче; ниже и выше этого места его можно было по желанию заставить петь или замолкнуть, причем оно не гасло. Десять лет спустя Тиндаль³ исследовал новое явление *чувствительного пламени*, которое подметил его ассистент Баретт⁴ и которое находится в несомненной связи с поющим пламенем. А именно, когда зажженный газ находится под столь сильным давлением, что пламя близко к вспышке, то оно приходит в сильное колебание и начинает то укорачиваться, то удлиняться, лишь только поблизости от него раздается тон надлежащей высоты. Эти процессы можно рассматривать как явления резонанса, и, действительно, Планету⁵ удалось показать, что эти пламена, подобно резонаторам, способны усиливать звуки камертонов.

Тем не менее, способность пламени приходить в колебание до сих пор еще не объяснена, и общей теории колебания пламени пока еще не существует или, по крайней мере, не существует еще общепризнанной теории. Более *старая* гипотеза, подкрепленная авторитетом Фарадея, заключающаяся в том, что звучание пламени происходит вследствие прерывистости горения, как будто еще в 1866 г.⁶ была подтверждена наблюдениями слоистости поющего пламени. Однако уже в 1858 г. Грайлих и Вейсс⁷ объяснили данное явление более естественно не периодическим потуханием пламени, а изменениями объема, происходящими при горении газа, притоком кислорода, удалением продуктов горения и поднятием по трубке нагретого воздуха. В пользу последнего

¹ Последние опыты были произведены в Гамбурге в большой церкви св. Михаила; сильный мужской голос при созвучии действовал на пламя еще на расстоянии в 36 м.

² „Philosophical Magazine" (4), XIII, стр. 473, 1857.

³ „Philosophical Magazine" (4), XXXIII, стр. 92 и 375, 1867: „On sounding and sensitive flames" и „On the action of sounding vibrations on gaseous and liquid jets." Последняя работа посвящена также рассмотрению того явления, что тоны изменяют и структуру вытекающих из отверстий водяных и газовых струй.

⁴ Баретт отметил, что, пользуясь чувствительным пламенем, можно с помощью электрического звонка передавать на расстояние крик младенца. Влияние тонов на пламя было, по-видимому, неоднократно замечено и раньше; во всяком случае, в 1858 г. ле-Конт указал на пульсирование так называемого пламени „рыбьего хвоста" под влиянием биений музыкальных тонов („Silliman's Journ." (2), XXV, стр. 62), о чем в указанной выше работе упоминает и Тиндаль.

⁵ „Pogg. Ann.", CXLIV, стр. 639, 1871.

⁶ Там же, CXXVIII, стр. 347, 1866.

⁷ „Sitzungsber. d. Wien. Akad.", XXIX, стр. 271. — W. J. Grailich (1829—1859) — приват-доцент в Вене. — E. Weiss (родился в 1837 г.) — профессор Венского университета.

обстоятельства особенно сильно говорили опыты П. Л. Рийке ¹, который вызывал звучание в трубках без всякого пламени, накаливая в них электрическим током металлические сетки. Зондгаус ² в 1860 г. вывел из своих опытов заключение, что причина данного явления заключается в *колебаниях самого воздуха в вытечной трубке*; он указал при этом на звуки, возникающие при вытекании воды ³, и сравнил этот процесс с возникновением тонов в языковых трубках. И. Б. Цох ⁴, пытаясь хотя бы частично отстоять гипотезу Фарадея, указал, что верхушка пламени периодически то тухнет, то загорается. А. Терквем ⁵ объяснил звучание трубки *взаимодействием между пламенем и вызываемым им восходящим током воздуха*; этот ток изменяет форму пламени, а последнее в свою очередь действует на ток воздуха, так что вся система начинает совершать правильные колебания. Наконец, Брезина ⁶ объяснил данное явление тем, что входящий в трубку воздух под пламенем *замедляется*, вследствие чего в этом месте образуется *сгущение*, которое, выравниваясь в обе стороны, вызывает колебания. Возможно, что многие или даже все приведенные причины влияют на звучание пламени, однако новейшие работы над родственными явлениями заставляют нас в большей мере, чем раньше, предполагать, что звуки пламени, подобно всем вообще звукам, возникающим при движении воздушных масс, происходят вследствие *сопротивления*, которое встречает газ, протекая мимо другого газа, или мимо твердых тел, — что они, следовательно, должны быть отнесены к разряду *звуков от трения*. Другими словами, поступающий в трубку воздушный ток приходит в колебания вследствие трения о края и стенки трубки, равно как о пламя и, в случае соответствия этих колебаний собственному тону трубки, они приобретают характер регулярного звука. Подобного рода объяснения были уже предложены в 60-х годах Тиндалем и Кундтом, а последний ⁷, в частности, показал, что подобные звуки от трения можно воспроизвести и на свободном пламени. Привлеченный случайным звучанием: широких пламен светильного газа, Кундт путем наблюдения установил, что два встречных тока воздуха, вытекающих из тонких заостренных трубок, дают легкие тоны, когда струи неодинаково интенсивны или же когда они направлены не прямо друг против друга, а несколько в сторону. Направленные таким же образом струи горящего светильного газа издавали более сильные звуки. Однако подобные тоны возникали и в том случае, когда одно из этих пламен заменялось струей атмосферного воздуха или угольной кислоты, и — что представлялось убедительнее всего — они были слышны и тогда, когда пламя направляли и просто на стену.

¹ „Pogg. Ann.“, CVII, стр. 339, 1859.— P. L. Rijke (родился в 1812 г.) — профессор Лейденского университета.

² „Pogg. Ann.“, CIX, стр. 1 и 426, 1860.— K. Fr. I. Sondhauss (1815—1886) — директор реальной гимназии в Нейссе.

³ „Pogg. Ann.“, CXXIV, стр. 1 и 235, 1865.

⁴ Там же, CXXVII, стр. 589, 1866.

⁵ Там же, CXXXIV, стр. 468, 1868.

⁶ „Programm d. Archigymnasiums Soest 1880—1881“; „Beiblätter zu Wied. Ann.“, V, стр. 401. — Bresina — проректор этой гимназии.

⁷ „Pogg. Ann.“, CXXVIII, стр. 614, 1866.

372 ЗВУКИ ОТ ТРЕНИЯ; ТОНЫ ОТ ЩЕЛИ

Многочисленные, вызывавшие большой интерес работы о трении газов и жидкостей друг о друга, а также о твердые тела, естественно повлекли за собою дальнейшие исследования о *звуках от трения*. Во всех случаях, когда газ или жидкость движется мимо твердых тел или же, наоборот, твердые тела движутся в газах или жидкостях, должны, как при трении друг о друга твердых упругих тел, возникать шумы, и последние могут перейти в тоны, если движения достаточно правильны или если вблизи имеется тело, которое способно выделить эти тоны из шума путем резонанса ¹. Первую большую работу о подобных тонах от трения опубликовал в 1878 г. В. Стругаль ². Он укрепил на вертикальной оси друг над другом два передвижных горизонтальных плеча, между которыми можно было натягивать тела, исследуемые с точки зрения звуков от трения (металлические проволоки, стеклянные палочки, стеклянные трубки), и затем при помощи махового колеса приводил рукою ось в быстрое вращение. Эти опыты привели его к следующим законам: высота тона от трения не зависит ни от вещества, ни от степени натяжения, ни от длины проволоки; она прямо пропорциональна скорости ее движения и обратно пропорциональна ее толщине; с увеличением длины проволоки возрастает и сила звука. Если у тонких упругих проволок движение постепенно ускорять, то сила тона несколько раз нарастает до значительных максимумов, причем это случается всякий раз, когда тон от трения совпадает с собственным тоном (основным или обертоном) проволоки. Значит, при достаточной силе воздействия сама проволока приходит в звучание, когда колебания воздуха, вызванные трением, соответствуют ее тону. Однако тот факт, что при увеличении вращательной скорости тон от трения по своей высоте опережает тон продолжающей еще звучать струны, ясно свидетельствует о том, что тоны от трения существуют самостоятельно. Отсюда, конечно, следовало, что звуки *оловой арфы* являются тонами от трения, или тонами струн, вызванными трением. Точно так же и звуки *губных трубок* Стругаль объясняет трением воздушного тока о губу инструмента. К этому мнению присоединился в своей «Акустике» 1883 г. ³ и Мельде, который дальнейшими опытами тоже установил зависимость тонов губных трубок от тонов трения. Изменяя различным образом давление, а, следовательно, и скорость, с которой воздух входит в трубку, он пришел к следующему закону: в органной трубке может зазвучать обертон, когда он становится обертоном по отношению к тону от трения, получаемому от вдувания в трубку воздуха; сила тона данной трубки повышается тем

¹ Тоны всех смычковых инструментов являются, конечно, *тонами от трения*.

² „Wied. Ann.", V, стр. 216, 1878.

³ „Akustik", стр. 72 и 249, Leipzig, 1883. Мельде, однако, не считает возможным принимать выражение „тоны от трения" в его прямом смысле. О возникновении тонов Стругалья он говорит („Akustik", стр. 72) следующее: „Здесь следует, наверное, допустить возникновение уплотнений и разрежений воздуха, в особенности в связи со своеобразными их вихревыми движениями. Следовательно, когда применяют выражение „тоны от трения", то следует иметь в виду, что оно ближайшим образом не выясняет сущности и действительного процесса возникновения тона".

ЗВУКИ ОТ ТРЕНИЯ; ТОНЫ ОТ ЩЕЛИ 373

больше, чем больше этот тон является тоном сильнейшего резонанса, т. е., когда последний звучит в унисон с тоном от трения¹. Тоны поющего волчка Мельде тоже объясняет тонами от трения, возникающими в отверстии волчка и усиливаемыми резонансом его полости².

Но, во всяком случае, в губных инструментах следует различать тоны от трения двоякого происхождения: одни, соответствующие стругалевским тонам, возникающие на губе, и другие, возникающие на краях воздушной щели. Последние внимательно исследовал В. Кольрауш в 1881 г.³. При этом он пришел к выводам, вполне соответствующим положениям Стругаля, и на этом основании признал доказанным, что *тоны от щели*, подобно стругалевским тонам, возникают вследствие трения движущихся масс воздуха о соответствующие твердые тела или же о слои воздуха, приставшего к твердым телам. Аналогичным образом Э. Сорель⁴ объясняет замеченные путешественниками в пустынных местах звуки наполовину струнного, наполовину колокольного характера. Он полагает, что эти звуки представляют собою тоны от трения воздушных токов о выступы скал или гребни гор, усиливаемые долинами, как резонаторами.

Хотя в физике уже давно проводилась усиленная работа над общими вопросами о превращении сил, тем не менее, акустика вплоть до новейшего времени оставалась в стороне от этого общего движения. Но теперь, когда было выявлено так много разнообразных случаев превращения механических движений в звуковые колебания, обратились, наконец, и к проблеме о превращении звуков в иные формы движения. Э. Варбург⁵ пришел к выводу, что при звучании твердых тел некоторая часть звуковой энергии всегда превращается в теплоту и тем большая, чем скорее прекращается звучание. Подобное нагревание установили сначала при продольных колебаниях твердых тел, а затем и при поперечных; однако в хорошо высушенных газах (атмосферном воздухе, угольной кислоте и светильном газе) не было замечено какого-либо образования теплоты. В 1872 г. Шампион и Пелле⁶ нашли, что при благоприятных условиях звук может освобождать химические силы; так, например, йодистый азот взрывается при наличии определенных высоких тонов. Артур Христиани в 1882 г.⁷ показал, что в некоторых случаях резонаторы способны поглотить тоны, не издавая звуков, а непосредственное превращение звуковых движений в электричество в телефоне Белла представило с этой точки зрения особый интерес.

Отсюда сама собою возникла мысль об измерении звуковой энергии, об отношении между силой звука и теми силами, которые его вызывают; разработка сонометрии стала насущной задачей физики. Однако для оценки сравнительной интенсивности различных тонов звука ухо еще

¹ „Akustik“, стр. 254, Leipzig, 1883.

² Там же, стр. 255.

³ „Wied. Ann.“, XIII, стр. 545, 1881.

⁴ „La Nature“, стр. 206, 1883.

⁵ „Pogg. Ann.“, CXXXVII, стр. 632, 1869.

⁶ „Klein's Revue“, стр. 435, 1875.

⁷ Там же, стр. 196, 1884.

менее пригодно, чем глаз для оценки света; *поэтому устройство сонометров не только заставило ждать себя дольше, но и до сих пор оно удалось в значительно меньшей степени, чем устройство фотометров*. Правда, физиологи многократно занимались определением чувствительности уха к различиям в интенсивности звука, то при этом измерялась собственно не сила звука, а величина живой силы, примененной для получения звука ¹. Прибор для объективного *сравнения сил звуков* попытался устроить А. М. Майер ². Звуки из двух источников, находившихся в отдельных комнатах, он воспринимал одинаково настроенными резонаторами и затем по трубкам одинаковой длины направлял в манометрическую капсулу кениговского прибора. Спокойное состояние манометрического пламени указывало на равенство сил обоих звуков, воспринимаемых резонаторами, а по расстоянию последних от источников звуков исчислялась, по закону убывания силы звука пропорционально квадратам расстояний, — сила звуковых источников ³. В. Дворак ⁴ в 1877 г. указал, что и с помощью изобретенных им приборов для демонстрирования акустических притяжений и отталкиваний можно было бы измерять энергию звуковых движений, а, следовательно, и интенсивность звуков. Наконец, А. Обербек ⁵, вспомнив замечание В. Вебера, сделанное им в 1846 г. ⁶, что силу звуковых движений можно было бы измерять вызываемыми ими при некоторых условиях *индукционными токами*, воспользовался им следующим образом. Введя в цепь гальванического тока *микрофон* и гальванометр, он наблюдал колебания стрелки, вызываемые звуками, действовавшими на микрофон, принимая их в известных пределах пропорциональными силам звуков; к сожалению, при этом выяснилось, что микрофон неодинаково чувствителен к различным звукам. Обербек применил свой прибор, главным образом, для выяснения того, какая доля энергии, сообщаемой звучащему телу, действительно превращается в звуковое движение. Для силы звука, вызываемого падением свинцовых или каменных шаров на деревянную доску, он принял эмпирическую формулу $J = p \cdot h^\varepsilon$, где p обозначает вес падающего тела, h — высоту падения, а ε — некоторую постоянную величину. Наблюдая затем отношение сил звуков при падении некоторого тела с различных высот, он получил из приведенной формулы для ε значения, колебавшиеся между 0,629 и 0,656. Раньше него Фирордт ⁷ определил для различных шаров высоты падения, при которых по субъективной оценке ухом получались звуки одинаковой силы; из этих опытов для ε определилось число 0,622.

¹ Эти исследования были вызваны преимущественно основным психофизическим законом Фехнера.

² „Philosophical Magazine" (4), XLV, стр. 90, 1873.— Alfred 'M. Mayer — профессор физики Stevens-Institut в Hoboken (Северная Америка).

³ По Фирордту („Zeitschr. f. Biologie", XVIII, стр. 383; „Jahrb. der Erfind.", XIX, стр. 140) отклонения от этого закона очень незначительны; ослабление звука при его распространении почти пропорционально расстоянию.

⁴ „Wied. Ann.", III, стр. 328, 1877.

⁵ Там же, XIII, стр. 222, 1881. — А. Oberbeck (родился в 1846 г.) — профессор физики в Грейфсвальде.

⁶ „Elektrodyn. Maasbest.", I, стр. 297.

⁷ „Zeitschr. f. Biologie", XIV, стр. 300, 1873.

Обербек полагает, что возможность применения микрофона в качестве сонометра выяснится только в результате дальнейшей разработки, но указывает, что по своей чувствительности микрофон, во всяком случае, значительно превосходит все аппараты, применявшиеся до сих пор для изучения звука.

Новая кинетическая теория газов вызвала некоторую тревогу в области теории распространения звуков в газах. Едва только в начале шестидесятых годов, наконец, пришли к единогласию по вопросу о поправке Лапласа к формуле Ньютона, как все привычные дедукции снова были поставлены под знак вопроса механической теорией газов. Раньше распространение звука представляли себе, как передачу движения в покоящейся среде; теперь же колебания должны были передаваться от частицы к частице, причем все они сами по себе уже обладали значительными скоростями; поэтому на движения отдельных молекул в газе, проводящем звук, уже нельзя было смотреть исключительно как на звуковые колебания. Но, с другой стороны, нетрудно было сообразить, что в среде, в которой происходят внутренние движения, сгущения и разрежения должны распространяться, как в покоящейся среде. Так, например, если в газе колеблется какая-нибудь плоскость, то при своем движении вперед она будет отражать от себя ударяющиеся об нее молекулы с большею скоростью, чем та, какую они имели в момент удара. Эту увеличенную скорость молекулы при своих столкновениях будут передавать другим молекулам, и эта передача, равно как и уплотнение, вызванное увеличенной скоростью, будет распространяться по всему газу. То же самое будет происходить и с разрежением при попятном движении упомянутой плоскости. Таким образом, все различие в распространении звука по старой и новой теориям будет заключаться лишь в том, что в первой предполагается передача всей скорости, а во второй *передача разности скоростей*. При этом, однако, остается одно значительное затруднение. Так как передача разностей скоростей происходит благодаря движению газовых частиц, то можно было бы думать, что скорость этой передачи, а значит, и *скорость распространения звука должны быть равны скорости движения молекул соответствующего газа*, а между тем это, как известно, не соответствует действительности. И. Стефан, первый высказавшийся в литературе о распространении звука с точки зрения новой теории газов, указал на это затруднение уже в 1863 г.¹ По-видимому, — говорит он, — до сих пор никто не обратил внимания на то обстоятельство, что если допустить в газах правильное расположение молекул, как его представлял себе Крениг, то из новой теории газов можно получить для скорости распространения звука ньютоновскую формулу. По этой теории скорость звука должна зависеть от скорости поступательного движения молекул и обе скорости были бы почти равны, если бы скорости всех молекул имели направление, одинаковое с направлением распространения звука². Но если мы представим себе, по Кренигу, пространство разделенным на кубики, в каждом из кото-

¹ „Pogg. Ann.“, CXVIII, стр. 494, 1863.

² Там же.

376 ИЗМЕРЕНИЯ РЕНЬО

рых движутся параллельно сторонам кубика только три молекулы, и то же пространство разделенным еще на слои плоскостями, перпендикулярными к диагональным осям кубиков, то движение от слоя к слою будет распространяться лишь со скоростью $x=u/\sqrt{3}$, где u обозначает поступательную скорость молекул. Если, далее, мы обозначим через m массу одной молекулы, через v — определенный объем, через n — число молекул в этом объеме и через p — существующее давление, то, по Кренигу и Клаузиусу, $pv=mn\bar{u}^2/3$. Отсюда, если mn/v , т. е. плотность газа, обозначить через ρ , мы получим формулу Ньютона: $x=\sqrt{p/\rho}$.

Однако этот вывод скорости распространения звука на основе новой теории газов, остававшийся долгое время без изменения, не мог дольше остаться в силе после того, как Клаузиус, Клерк, Максвелл, О. Е. Мейер и Руше отказались от простоты крениговских допущений и даже допустили неравенство скоростей молекул в одном и том же газе. Поэтому Гоорвег¹ попытался построить вывод скорости распространения звука на самых общих основаниях кинетической теории газов, но, в отличие от Стефана, замедление звука по сравнению со скоростью молекул он объяснил *потерей времени*, испытываемой молекулами при их столкновениях. Тольвер Престон² при разработке того же вопроса вернулся, наоборот, к точке зрения Стефана на причину замедления скорости. Вопрос об отношении скорости звука к скорости молекул получил тем больший интерес, что отношение это для всех газов, или, по крайней мере, для газов одинакового молекулярного строения³, должно было оставаться приблизительно постоянным и величина его могла послужить для определения скорости звука по скорости движения молекул, и обратно. По Стефану величина этого отношения $x/u=1/\sqrt{3}=0,577$. Гоорвег дал для него число 0,649, а Максвелл в связи с работой Престона вывел для него число 0,745. Эти числа, действительно, могли бы послужить хорошей проверкой для соответствующих теорий, если бы только скорость молекул и скорость распространения звука были более точно известны.

Можно смело утверждать, что в течение последних столетий измерения распространения скорости звука никогда не прекращались, и, тем не менее, никогда еще не удалось прийти к достаточно точным и надежным результатам. В 1868 г. Реньо⁴ снова произвел длинный ряд *измерений скорости звука* и получил очень точные числа, но вместе

¹ „Archives neerlandaises", XI, стр. 131, 1876; реферат, составленный при участии автора, помещен в „Beiblätter zu Wied. Ann.", 1, стр. 209.

² „Philosophical Magazine" (5), III, стр. 441, 1877.

³ Если допустить, что молекулы не являются твердыми телами, то на проведение звука должны влиять и *интрамолекулярные движения*, и притом различно в молекулах с различным числом атомов.

⁴ „Mém. sur la Vitesse de propagation des ondes dans les milieux gazeux" „Mém. de l'Inst.", XXXVII, стр. 3—575, 1868.

МЕТОД КУНДТА 377

с тем он получил такие результаты, которых нельзя было безоговорочно принять. Для этих опытов Реньо использовал длинные газо- и водопроводные трубы; на одном конце трубы звук вызывался пистолетным выстрелом, а на противоположном конце приход звуковых волн отмечался колебанием каучуковой мембраны, натянутой на отверстии трубы. При многих опытах входное отверстие тоже закрывалось каучуковой пластинкой тотчас же после выстрела, и тогда нередко наблюдалось отражение звука до десяти раз. Время, какое требовалось для прохождения звука по трубе вперед и назад, определялось с помощью камертонного хронографа Кенига. Опыты дали ожидаемые результаты, *что скорость распространения звука не зависит от давления, что в различных газах она изменяется соответственно корню квадратному из плотности*; но вместе с тем они дали и неожиданный результат, что *скорость возрастает с силой звука*. Для средней скорости распространения звука в сухом воздухе при 0° , исчисленной с момента выстрела и до того момента, когда сила звука настолько уже ослабела, что звук перестает влиять на самую чувствительную мембрану, Реньо получил число 330,6 м. В двух сериях опытов на открытом воздухе, где звук производился пушечными выстрелами с расстояний в 1280 и 5445 м, определились скорости в 331,37 и 330,7 м, откуда Реньо снова сделал заключение об уменьшении скорости звука с уменьшением его силы ¹. Благодаря этим опытам, из которых определилось число, значительно отклоняющееся от выводов прежних измерений, дававших в большинстве случаев число, близкое к 332 м, вопрос о скорости звука опять стал проблематичным ².

А. Кундт, который в 1866 г. ³ открыл новый способ демонстрирования звуков с помощью *пыльных фигур* и применял его для определения скорости звука, использовал теперь этот косвенный метод для проверки результатов, полученных Реньо ⁴. Если приводить в сильное звучание воздух в стеклянных трубках, закрытых с одного конца подвижным

¹ Приход звуковых волн у Реньо всегда выявлялся по движению легких перепонки. Возможно, что при этой установке сильные звуки действовали на перепонку быстрее, чем слабые, поэтому указанный результат получился, быть может, не вследствие меньшей скорости более слабого звука, а вследствие более поздней его регистрации. Тем не менее, возможно, что очень сильные сотрясения воздуха, вызывающие очень сильные сгущения, распространяются быстрее, чем вполне установившиеся правильные воздушные волны. С. Ирншоу пришел к подобным выводам уже в 1858 г.; Мах („Wien. Ber.", LXXV, стр. 101) тоже наблюдал повышенные скорости волн при взрывах.

² Ле-Ру приводит („Ann. de chim. et de phys." (4), XII, стр. 354) следующую сводку результатов по измерению скорости распространения звука:

1738 Парижская академия наук	332 м
1811 Бенценберг	{ 337,70 "
	{ 332,33 "
1821 Гольдингэм	331,10 "
1822 Бюро долгот	330,64 "
1822 Мольт и фан-Бек	332,25 "
1822 Штамппер и Мирбах	332,44 "
1844 Браве и Мартэн	332,44 "

³ „Pogg. Ann.", CXXVII, стр. 497, 1866.

⁴ Там же, CXXXV, стр. 337 и 527, 1868.

378 МЕТОД БОСША

поршнем, то в них благодаря отражению образуются стоячие волны, заставляющие расположиться легкий порошок, насыпанный в трубке, правильными кольцами или полосами. Эти пыльные фигуры выявляют *узловые линии* стоячих колебаний и дают, таким образом, возможность точно измерить *длину волны*, с помощью которой, после установления высоты тона или числа колебаний данного звука, обычным образом можно вычислить *скорость распространения звука*. Устроив прибор, который давал возможность наполнять трубку различными газами, и, устранив всякое влияние на нее внешних колебаний воздуха, Кундт при помощи этого прибора пришел к следующим выводам: 1) скорость звука в воздухе в трубках уменьшается с диаметром последних и начинает заметно отличаться от скорости его на открытом воздухе, когда диаметр трубки становится меньше $\frac{1}{4}$ длины волны тона, примененного при опыте; 2) в узких трубках при шероховатости внутренней их поверхности скорость звука уменьшается; 3) *влияние силы звука, равно как и способа его получения, не может быть доказано*, если только отвлечься от скорости первой волны; 4) в широких трубках скорость звука не зависит от давления, а в узких — при повышении давления скорость увеличивается; 5) *все наблюдаемые изменения скорости происходят вследствие трения и, в особенности вследствие теплового обмена на стенках трубки*. При 100° скорость звука равна $v_0\sqrt{1+100\alpha}$, где v_0 представляет собою скорость при 0° , а α — коэффициент расширения воздуха. Эти данные Кундта, даже там, где они расходятся с результатами Реньо, хорошо согласуются с полученными около того же времени теоретическими выводами Кирхгофа ¹. Определенное расхождение между последними и экспериментальными результатами Кундта имеется только по вопросу о влиянии диаметра трубок, но их Кундт объясняет частью ошибками наблюдения, частью влиянием примененного порошка на движение в трубках.

При измерении скорости звука на открытом воздухе на точность результатов вредно влияло изменчивое состояние атмосферы, а при измерениях в трубках — влияние самих трубок. Отсюда явилась потребность произвести измерение скорости звука на небольших расстояниях в возможно закрытых помещениях. Соответствующий метод, так называемый метод совпадения звуков, предложил уже в 1854 г. И. Босша ². Если в цепь гальванического тока ввести два электромагнитных звонка и наладить их таким образом, чтобы в то время, когда они стоят вплотную рядом, их удары происходили одновременно, и если затем с одним из этих звонков удаляться от другого, то их звучание будет снова слышно одновременно лишь в том случае, когда звук будет

¹ „Pogg. Ann.“, CXXXIV, стр. 177, 1868; также „Gesammelte Abhandlungen“, стр. 540, 1882. Кирхгоф дает формулу: скорость в трубке равна скорости на

$$\times \left(1 - \frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}}\right)$$

открытом воздухе, где γ обозначает постоянную, зависящую от трения и от теплового обмена. Совершенно такую же формулу, но только с иным значением "постоянной" γ , дал в 1863 г. Гельмгольц („Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg“, III, стр. 16, 1863; „Wissensch. Abhandl.“, 1, стр. 381).

² „Pogg. Ann.“, XCII, стр. 485, 1854.

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 379

проходить расстояние, разделяющее оба колокольчика, как раз за промежуток времени, протекающий между двумя или несколькими ударами. Отсюда по данным о расстояниях, проходимых звуками за определенное время, уже легко вычислить скорость их распространения даже в пределах комнаты, если последняя достаточно велика. В 1862 г. Кениг¹ устроил прибор для практического осуществления этого метода, однако для совершенно точных измерений он оказался непригодным. Наконец, в 1877 г. Акос Чатмари² получил несколько видоизмененным методом для скорости звука в сухом воздухе при 0° число 331,57 м.

В 1874 г. Тиндаль³ опубликовал интересные наблюдения о совершенно различном распространении звука в воздухе в различных направлениях. Он нашел, что *акустическая прозрачность* совершенно не зависит от оптической, и приписал акустическую непрозрачность, главным образом, содержащемуся в воздухе водяному пару или смеси его с воздухом. Около того же времени Осборн Рейнольдс пришел к выводу⁴, что туман также ослабляет звук, и объяснил это явление трением колеблющегося воздуха о менее подвижные и, следовательно, относительно покойные частицы воды. Генри и Дюан⁵ на основании своих опытов пришли к заключению, что распространению звука всего больше препятствуют *различия температур* и вызываемые ими воздушные токи и изменения плотностей. В полном согласии с этим последним мнением В. Жэкс⁶ полагал, что причина акустических недостатков многих больших аудиторий заключается не только в их пространственных соотношениях, но также в *неблагоприятных воздушных течениях*, вызываемых особыми местными температурными условиями, и подтвердил свое мнение интересными опытами.

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (приблизительно от 1860 до 1880 г.). В течение последнего периода *электричество* получило поразительное развитие в двух направлениях. Начав с малого, с нескольких своеобразных явлений, совершенно выходявших за пределы действия остальных физических сил, электричество в своем развитии не только постепенно приблизилось к последним, но из всех физических сил оказалось наиболее способным к превращениям и, таким образом, сделалось главной опорой идеи о единстве всех сил природы. Это привело в новейшее время, с одной стороны, к попытке теоретически проделать обратный путь и *свести электричество к единой основе, общей со всеми прочими физическими силами*, а с другой стороны; — вызвало стремление *осуществить и в технике все необходимые превращения и передачи сил при посредстве электричества*. Конечно, в обоих этих направлениях указанный процесс ни в коем случае еще нельзя

¹ „Comptes rendus", LV, стр. 603, 1862; „Pogg. Ann.", CXVIII, стр. 610, 1863.

² „Wied. Ann.", II, стр. 418, 1877.

³ „Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 668, 1874. Здесь Тиндаль говорит (стр. 681): „Не дождь, не град, не сырость, не туман, не снег и вообще не вода в какой-либо жидкой или твердой форме, а газообразная вода в смеси с воздухом делает последний акустически мутным и облачным".

⁴ „Nature", XII, стр. 373, 1875.

⁵ „Silliman's Journal" (3), XI, стр. 34, 1876.

⁶ „Philosophical Magazine" (5), VII, стр. III, 1879.

380 ТЕОРИЯ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

считать законченным. Нельзя еще сказать, чтобы было доказано полное соответствие между электричеством и прочими физическими силами с точки зрения их сущности и характера действия; еще меньше можно утверждать, что электричество действительно уже осуществило в технике указанную выше роль посредника, — но в обоих этих направлениях цель вполне ясно поставлена и возможность ее окончательного достижения едва ли кем оспаривается.

Что касается общих воззрений на *характер действия* электрических сил, то для них, конечно, приходилось брать в качестве исходной точки наиболее общий и основной закон этого действия, закон Вебера, или же, по крайней мере, согласовать их с последним. В предыдущем отделе мы уже отметили, что в тот период всякая принципиальная оппозиция против этого закона прекратилась и исследования ставили себе целью лишь проверку соответствия выводов, сделанных из него по отношению к гальванической индукции, с прочими предложенными в то время теориями тех же явлений, причем результаты этих исследований оказались, во всяком случае, не неблагоприятными для закона Вебера. Идя тем же путем, Гельмгольц теперь, однако, пришел к иным результатам и этим вызвал новую общую дискуссию по поводу данного закона.

По словам самого Гельмгольца ¹ в 1870 г. ему пришлось в связи с некоторыми опытами обсудить вопрос, каким образом электрические токи начинают течь внутри телесных проводников, и за решением этого вопроса он обратился к теории. Уравнения движения электрических токов переменной силы для проводников трех измерений, следующие из веберовского закона электрического действия на расстоянии, были выведены в 1857 г. ² Кирхгофом и частью им, частью другими математиками были с успехом применены для объяснения некоторых экспериментальных явлений. При попытке же Гельмгольца применить их к указанной новой проблеме теория привела его к физически недопустимым выводам, и он убедился, что причина этого заключается в самих принципах этой теории. А именно, *согласно выводам из теории Вебера равновесие покоящегося электричества в проводящем теле может быть неустойчивым и поэтому построенная на этом теория допускает возможность таких электрических токов, у которых сила и плотность непрерывно возрастают и могут достигнуть бесконечно больших значений*. Наоборот, уравнения движения, выведенные Гельмгольцем на основе неймановского закона индукции, дали для покоящегося электричества устойчивое равновесие и, следовательно, не привели к вышеуказанным невозможным выводам. Для того чтобы сделать выбор между существовавшими в то время теориями индукции Вебера, Неймана и Клерка Максвелла, Гельмгольц вывел общее выражение для *потенциала двух элементов тока*, которое заключало в себе все установленные до того времени законы. Это выражение содержало в себе неопределенной величины постоянную k , которая должна была принимать значения, равные

¹ „Journ. f. reine und angew. Math.“, LXXII, стр. 57, 1870; „Wissensch. Abhandl.“, 1, стр. 545: „Über die Bewegungsgleichungen der Elektrizität für ruhende leitende Körper“.

² „Pogg. Ann.“, CII, стр. 529, 1857.

соответственно 1,0 и -1 , когда общее выражение Гельмгольца должно было переходить в выражения, данные Нейманом, Максвеллом и Вебером. Дальнейшее исследование электрических движений показало, что при отрицательном значении постоянной k возможно и отрицательное значение *работы*, представленной электрическим движением, т. е. возможна величина меньшая, чем при состоянии покоя; таким образом, возможность неустойчивого равновесия в состоянии покоя допускалась одной лишь теорией Вебера. Поэтому, признавая, что закон Вебера находится в соответствии с законом сохранения силы постольку, поскольку он не допускает кругового процесса, который создавал бы работу из ничего, Гельмгольц ¹ все же пришел к выводу, что первый закон противоречит второму в том отношении, что согласно закону Вебера две электрические частицы, начавшие свое движение с конечною скоростью, приобретают на конечном друг от друга расстоянии бесконечно большую живую силу и, следовательно, могут произвести бесконечно большую работу. На это возражение В. Вебер в 1871 г. ² ответил замечанием, что довод Гельмгольца справедлив лишь при том условии, *если электрическим массам приписать начальную скорость, значительно большую скорости распространения света, и если сверх того принять, что электрические массы могут сблизиться друг с другом на молекулярные, т. е. бесконечно малые, расстояния*. Однако Гельмгольц ³ продолжал стоять на своем, утверждая, что указанные им отношения могут сложиться согласно закону Вебера и при *практически осуществимых условиях*. Это разногласие дало повод к довольно продолжительным дискуссиям, в которых приняли участие и другие ученые, как, например, Нейман, Целльнер, Ж. Бертран, Рике и т. д., большею частью стоявшие на стороне Вебера; в результате этих дискуссий появилось несколько ценных работ на эту тему, которые, однако, не смогли разрешить данного спорного вопроса на физико-математической основе. Но и на *экспериментальной основе* разрешение указанного расхождения между этими теориями представлялось тогда едва ли возможным. Сам Гельмгольц указал, что по отношению к круговым процессам закон Вебера не дает отклонений и что вообще для замкнутых токов все три указанных закона индукции в одинаковой мере соответствуют фактической стороне дела. Для *незамкнутых же токов*, или для *концов тока*, исследование встречало покуда непреодолимые препятствия, вызванные преимущественно продолжительностью токов, длящейся только в течение того времени, пока подводится количество электричества, необходимое для заряжения поверхности соответствующего проводника ⁴. Наконец, Гельмгольц решил, что имеется возможность получать достаточно активные концы тока с помощью *электрической конвекции* — так назвал он перенос электричества, осуществляемый путем перемеще-

¹ В своей работе о сохранении силы Гельмгольц исходил из допущения, что под действие закона о сохранении силы подпадают только те силы, которые зависят от расстояний, но не от скоростей масс (см. выше стр. 42—43).

² „Abhandl. d. K. Sachs. Ges. d. Wiss.", X, стр. 170, 1871.

³ „Journ. für reine und angew. Math.", LXXV, стр. 35, 1873; „Wissensch. Abhandl.", I, стр. 647.

⁴ „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 91.

ния наэлектризованных тел. Дело в том, что закон *потенциала* (Неймана-Гельмгольца) приписывает электродинамическое действие только электричеству, движущемуся в весомах массах, но не тому электричеству, которое перемещается конвективно, между тем как закон Вебера не делает между ними в этом отношении никакого различия. Однако опыты, произведенные Н. Шиллером в 1874 г.¹, сначала в физической лаборатории Берлинского, а затем с усовершенствованными приборами в лаборатории Московского университета, привели, по меньшей мере, к следующему выводу: либо действий концов тока, следующих из закона потенциала, вообще не существует; либо помимо электродинамических действий, предугазанных на основе этого закона, существуют еще и аналогичные действия конвективного электричества; таким образом, закон потенциала, во всяком случае, оказывается неполным, если в нем принимают в расчет только действие на расстоянии электричеств, протекающих по проводникам². Произведенные вскоре за тем в той же Берлинской лаборатории исследования Генри А. Роуланда³ прямо показали, что движение наэлектризованных весомах масс действительно производит электромагнитное действие. На этом основании Гельмгольц признал, что *результаты этих опытов, действительно, вполне соответствуют предпосылкам теории Вебера*, но при этом отметил, что их можно вывести и из теории Максвелла, отрицающей какое-либо непосредственное действие на расстоянии, а также из закона потенциала, если только при последнем принять во внимание диэлектрическую поляризацию изоляторов, окружающих проводник⁴.

Хотя, таким образом, правильность закона Вебера с количественной стороны не была оспорена, но уже приведенный только что отзыв Гельмгольца указывает на то, что теперь речь шла уже не столько о правильности выводов, вытекающих из этого закона, сколько о *принципиальной допустимости его исходных предпосылок*, что теперь критика была направлена вообще против возможности и необходимости, во-первых, *непосредственного действия* электрических сил на расстоянии и, во-вторых, *одновременного течения двух противоположных жидкостей по одному проводнику*. К. Нейман в 1871 г.⁵ попытался обойти, по крайней мере, допущение существования двух противоположных токов в одном проводнике. Сохранив в силе основной веберовский закон электрических сил, он вывел законы электродинамического действия и индукции на основе допущения, что только одно из электричеств, положительное, находится в движении, тогда как другое, отрицательное, остается неразрывно связанным с весомай массой. Клаузиус тоже был против допущения Вебера, что при гальваническом токе в каждом элементе проводника должны одновременно перемещаться в противопо-

¹ „Pogg. Ann.", стр. 93; „Wissensch. Abhandl.", I, стр. 780; см. также „Pogg. Ann.", CLIV, стр. 456 и 537; CLX, стр. 333.

² „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 95.

³ Там же, стр. 487; „Wissensch. Abhandl.", I, стр. 791. — Н. А. Rowland — профессор физики John Hopkins University в Балтиморе.

⁴ „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 493.

⁵ „Berichte der K. Sachs. Ges. d. Wissensch.", XXIII, math.-naturw. Classe, стр. 386, 1871.

ЗАКОН КЛАУЗИУСА 383

ложных направлениях и с одинаковыми скоростями равные количества положительного и отрицательного электричества. «Пока не существует, — говорит он, — неопровержимых доводов в пользу допущения подобного двойного тока, не следует отказываться от более простого представления, что ток является течением одной только жидкости, и на основе этого представления следует попытаться объяснить действия гальванического тока»¹. Но так как закон Вебера казался ему несовместимым с этим простым представлением², то он сам попытался *построить новый основной закон электродинамического действия* двух движущихся частиц электричества³. При этом он считал необходимым *отказаться* и от другого положения Вебера, согласно которому силы притяжения и отталкивания двух электрических элементов должны действовать по линии, соединяющей эти элементы. Для случая тяготения двух весовых покоящихся частиц он принял подобное направление взаимодействия как само собою разумеющееся, так как в данном случае иного определенного направления, кроме соединяющей их линии, не существует; но для двух частиц электричества, находящихся в движении, дело обстоит совершенно иначе. В данном случае кроме прямой, соединяющей обе частицы, есть еще и другие определенные направления, а именно — направления движений самих частиц, и есть все основания думать, что и эти направления влияют на направление силы их взаимодействия. Таким образом, из всех основ веберовской теории Клаузиус оставляет в силе лишь допущение, *что взаимодействие двух электрических частиц зависит от их положения и от состояния движения, обусловленного их скоростями и ускорениями*. На этой основе и с помощью только опытных фактов Клаузиус выводит для электродинамического взаимодействия новый *потенциал* $V = k(ee'vv'/r)\cos\varepsilon$ или вообще для потенциала двух электрических масс e и e' друг по отношению к другу $V = (ee'/r)(1 + kvv'\cos\varepsilon)$, где, однако, v и v' обозначают уже не *относительные*, а *абсолютные* скорости частиц и ε — угол между направлениями их движения⁴. Однако и закон Клаузиуса вызвал ряд *возражений* и привлек на свою сторону лишь мало последователей. Сам Вебер был склонен признать его лишь постольку, поскольку он совпадал с его собственным законом. Г. Лорберг⁵, по-видимому, вполне правильно, признал совершенно неприемлемой *вытекающую из формулы Клаузиуса зависимость действий от абсолютных скоростей электричеств*, признавая возможной зависимость этих действий только от относительной их

¹ „Die mechanische Behandlung der Elektrizität“, стр. 228, Braunschweig 1879.

² Там же, стр. 232.

³ „Journ. für reine und angew. Math.“, LXXXII, стр. 85, 1876; „Die mechanische Behandlung der Elektrizität“, стр. 225.

⁴ „Die mech. Behandl. d. Elektrizität“, стр. 227. Конечно, и здесь не может быть речи об абсолютной скорости в строгом смысле этого слова. Клаузиус определенно указал („Wied. Ann.“, X, стр. 616, 1880), что, применяя слово абсолютный, он представлял себе среду, в которой движутся электрические частицы, находящейся в покое и что под абсолютной скоростью он, естественно, подразумевал только скорость электрических частиц по отношению к этой среде.

⁵ „Pogg. Ann.“, дополнительный том VIII, стр. 599, 1877.

скорости. «A priori, — говорит он, — конечно, нельзя отвергать допущения, что между двумя электрическими частицами может возникнуть сила не только в результате относительного их движения, но и в результате абсолютного движения их по отношению, скажем, к окружающему эфиру; но тогда, конечно, сила только кажущимся образом исходила бы из электрических частиц, и закон, поскольку он совершенно не учитывает истинного действия внешних сил, представлял бы собою нечто неудовлетворительное»¹. Он пытается затем обосновать это действие, не делая никаких определенных допущений о движении электричества в токе, и снова приходит к тому выводу, что как пондеромоторная, так и электродвижущая силы двух элементов тока вполне соответствуют основному закону Вебера и что поэтому должно быть допущено существование противоположных движений двух электричеств в токе². Клаузиус признает ценность исследования Лорберга для выяснения данной проблемы, но продолжает настаивать на правильности своего закона и характеризует создавшееся положение следующими словами³: *«Если исходить из предположения, что только относительное движение в веберовском смысле этого слова может влиять на электродинамические силы, то приходишь к выводу, что основной закон Вебера является единственно возможным и что в гальваническом токе должны течь два электричества в противоположных направлениях и с равными скоростями. Если же не желают прибегать к допущению, что в гальванических, а равно и в других электрических токах, относительно которых имеют силу электродинамические законы, оба электричества движутся с равными скоростями в противоположных направлениях, то нельзя и допускать, что на электродинамические силы влияет только относительное движение (все равно, в веберовском или же в обычном смысле этого слова), а следует приписать такое влияние и абсолютным движениям; в этом случае мы приходим к моему основному закону как к единственно возможному»*⁴.

¹ „Pogg. Ann.“, дополнительный том VIII, стр. 599—600.

² Там же, стр. 607, 1877.

³ „Die mechanische Behandl. d. Elektrizität, стр. 352, Braunschweig 1879.

⁴ На основании опытов Вильг. Гинтля [(1804—1883), директор австрийского телеграфного управления] по одновременной передаче депеш в противоположных направлениях по телеграфным проводам между Веной и Прагой в июле 1853 г., которые, впрочем, еще не вполне удались, неоднократно высказывали ту мысль, что уже самая возможность подобных опытов указывает на возможность одновременных и противоположных токов в проводе. Однако Вернер Сименс тотчас же отметил („Pogg. Ann.“, XCVIII, стр. 121), что при этом оставляют без внимания закон Ома и учение о разветвлении тока, и указал на тот факт, что две равные батареи, включенные в цепь в противоположных направлениях, не производят никакого действия; это ясно видно из того, что в этом случае в цепи не развивается никакой теплоты и в батареях не происходит никакого химического действия.— Неожиданно резкую критику, хотя и без всякого обоснования, встретил закон Вебера в „Учебнике теоретической физики“ Томсона и Тэта („Handbuch der theoretischen Physik“, I, стр. 350, Braunschweig 1871). „Он (Вебер) принимает, что электрический ток состоит из движения двух разнородных частиц электричеств, которые пробегают по проводу в противоположных направлениях, и что эти частицы, находясь в относительном движении, развивают по отношению к другим подобным частицам силы, отличные от тех, которые они проявили бы, если бы они находились в состоянии отно-

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ ОТ ВРЕМЕНИ 385

В данном вопросе исследователи действительно продолжали бы оставаться между Сциллой и Харибдой, если бы они не использовали указанного Лорбергом *выхода* и не допустили *участия окружающей среды* в процессе взаимодействия двух электрических частиц. Но последнее, в конечном счете, приводит к пути, уже намеченному Гельмгольцем, принявшим в расчет диэлектрическую поляризацию, а именно, к отказу *от действия на расстоянии* (*actio in distans*), по крайней мере, в области электричества, и к допущению *передачи электрических действий при посредстве диэлектрика*. Однако раньше чем говорить об относящихся сюда работах, примыкающих к воззрениям Фарадея, нам следует остановиться еще на некотором среднем пути. *Если действие силы происходит при посредстве среды, то оно требует для своего распределения известного времени*. Отсюда возникает вопрос, можно ли при определении действия силы ввести в расчет время ее распространения, совершенно отвлекаясь от посредствующей *среды*, природа и движения которой *нам неизвестны*. Первым, который подобным образом ввел в расчет время распространения электрических сил, был, по-видимому, Гаусс. Уже в 1847 г.¹ в одном из своих писем к В. Веберу он сообщает, что давно размышляет над вопросами электродинамики и что он опубликовал бы свои исследования, если бы ему удалось включить в свою работу действительное завершение электродинамики, а именно, вывод добавочных сил (присоединяющихся к взаимодействию покоящихся частиц электричества, когда последние находятся в относительном движении) и их действий, но не мгновенных, а *требующих для своего распространения времени* (аналогично тому, как при свете). Он высказал при этом твердое убеждение в том, что наиболее существенное в данной проблеме — это составить себе определенное представление о *характере распространения этих действий*. Позднее, в 1858 г., Б. Риман представил Геттингенскому научному обществу работу, которая была опубликована лишь после его смерти в 1867 г., так как он взял ее назад². В этой работе Риман выразил электрический *потенциал* V двух электрических частиц друг относительно друга с помощью формулы, составленной по образцу уравнения Лапласа-Пуассона:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) + \alpha^2 \cdot 4\pi\rho = 0;$$

здесь α представляет собою определенную скорость (именно $\alpha^2 = 1/2c^2$, где c есть упомянутая раньше постоянная Вебера). Риман не сделал

сительного покоя. Такое допущение при настоящем состоянии науки никак не может быть оправдано, так как гипотезу о существовании двух электрических жидкостей отнюдь нельзя считать правильной и так как, кроме того, эти выводы находятся в противоречии с началом „сохранения энергии“, которое мы на основании бесчисленного количества экспериментальных данных признаем общим законом природы. Подобные теории становятся еще более *опасными* (?), если они случайно объясняют какие-нибудь другие явления, как например, теория Вебера объясняет индукционные токи“. Тэт высказался подобным же образом и раньше, в своем „Sketch of Thermodynamics“, Edinburgh 1868.

¹ Gauss, *Sämmtliche Werke*, V, стр. 627. Письмо датировано 19 марта 1845 г., следовательно, оно было написано за год до опубликования закона Вебера.

² „Pogg. Ann.“, CXXXI, стр. 237, 1867.

386 УНИТАРНАЯ ТЕОРИЯ ЭДЛУНДА

никаких предположений относительно среды, в которой должно распространяться действие, но согласно самой формуле это распространение должно соответствовать распространению волн и других возмущений в упругой среде, так как приведенный потенциал V зависит не только от электрической плотности ρ , но также и *от времени*, а, следовательно, и *от движения*, а постоянная α приблизительно равна *скорости света в эфире*¹. К. Нейман² в 1868 г., отстаивая закон Вебера и давая новый вывод этого закона, тоже исходит из предположения, что электрические действия распространяются от частицы к частице *постепенно с течением времени*. Он четко отличает от электростатического потенциала ee'/r как *излучающего* (emissiv) электродинамический, или *воспринимающий* (receptiv), потенциал

$$\frac{ee_1}{r} \left[1 + \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right];$$

последний он выводит из того представления, что хотя излучающий потенциал распространяется между телами не изменяясь, но он требует для своего распространения времени, так что на движущиеся тела он действует иначе, чем в случае допущения *мгновенного удаления* электрических частиц.

Совершенно то же представление, не упоминая имени Неймана и, по-видимому, не зная его работы, применил Эдлунд непосредственно к действию двух электрических частиц в своей работе 1871 г. «Über die Natur der Electricitat» («О природе электричества»)³, притом в чрезвычайно остроумной и плодотворной форме. Из всех принятых раньше невесомых, — говорит Эдлунд, — в настоящее время остались только две электрические жидкости, которые признаются еще необходимыми с теоретической точки зрения. Но он, Эдлунд, попытается теперь доказать, что все электрические явления как статические, так и динамические могут быть объяснены на основе *одной жидкости, которая, по всей вероятности, представляет собою не что иное, как эфир*. С этой целью он допускает существование тонкой, в высшей степени упругой материи, распространенной во всей вселенной и заполняющей собою не только вакуум, но и те части пространства, которые заняты весомым

¹ Риман говорит об этом соотношении следующее (стр. 237): „При этом позволяю себе сообщить Королевскому обществу замечание, которое приводит в тесную связь теорию электричества и магнетизма с теорией света и лучистой теплоты. Я нашел, что электродинамическое действие гальванических токов поддается объяснению, если принять, что действие какой-либо электрической массы на другие происходит не мгновенно, а доходит до них с постоянною скоростью (равною в пределах ошибок наблюдения скорости света)". — Georg Friedr. Bernh. Riemann (1826—1866) — профессор математики в Геттингене.

² „Die Principien der Elektrodynamik", Tübingen 1868; извлечение, составленное Шейблером в „Zeitschr. für Math. u. Physik", XIII, „Literaturzeitung", стр. 37, 1868.

³ „Pogg. Ann.", дополнительный том VI, стр. 95 и 241, 1874; переведено из „Arch. d. scienc. de la Bibl. univ.", март и апрель 1872; работа эта была представлена Стокгольмской академии наук 10 мая 1871 г. — Erik Edlund (1819—1888) — физик Стокгольмской академии наук.

веществам. Молекулы этой материи, находясь на определенных расстояниях друг от друга, взаимно отталкиваются по направлению соединяющей их прямой в *обратном отношении квадратов этих расстояний*. Таким образом, электрический эфир в высшей степени сходен с обыкновенным газом. Далее, для установления связи между эфиром и прочей материей остается еще сделать одно допущение, *что в телах, которые мы называем хорошими проводниками, заключенный в них эфир, или, по крайней мере, часть его, легко перемещается от одной точки к другой*, тогда как в непроводниках электричества он в большей или меньшей степени *связан* с весомыми молекулами. Если при этом непроводящее материальное тело есть *газ* или *идеальная жидкость*, то эфирные частицы сохраняют еще *часть своей подвижности*, а именно, поскольку они могут перемещаться вместе с частицами газа или жидкости. Из подвижности эфирных атомов необходимо следует, что в эфире, как в газах и жидкостях, давление должно быть по всем направлениям одинаково. Поэтому к эфиру может быть, с необходимыми модификациями, применен *принцип Архимеда*, согласно которому каждое тело, погруженное в жидкость, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость; но при этом, конечно, здесь следует иметь в виду не тяжесть, а отталкивание эфирных молекул.

Материальное тело, на которое действует электричество, не может двигаться, если заключенный в нем эфир отталкивается со всех сторон с одинаковою силою. Но если отталкивание с одной стороны меньше, чем с других сторон, то тело, если оно свободно, должно двигаться в направлении, определяемом отталкивательною силою. Поэтому при электрическом взаимодействии двух тел необходимо принимать во внимание следующие обстоятельства: «1) Непосредственное действие между эфиром тела *A* и эфиром тела *B*; 2) действие всей окружающей среды, за исключением эфира в *A*, на эфир тела *B*; 3) действие эфира в *A* на тот эфир, который занимает место тела *B* после удаления последнего; 4) действие всей окружающей среды, за исключением пространства, занимаемого телом *A*, на тот эфир, который находится на месте, занимаемом под конец телом *B*, если последнее переместить». Первые два случая соответствуют действию всей окружающей массы эфира на эфир тела *B*, а два последних выражают собою действие всей окружающей массы на эфир того места, которое занимает тело *B*, когда последнее было удалено. Если взять алгебраическую сумму двух первых случаев и вычесть из нее сумму двух последних, то соответственно закону Архимеда получается выражение для движения тела *B*. Сделав затем допущение, *что тело, заряженное положительным электричеством, содержит эфира больше, а тело, заряженное отрицательным, наоборот, содержит меньше, чем в нормальном состоянии*, Эдлунд выводит формулы Кулона для электрических притяжений и отталкиваний; точно так же и явления *индукции статического электричества* непосредственно вытекают из этих допущений. *Разрядный электрический ток* представляет собою тогда не что иное, как *переход эфира из одного тела в другое*. *Гальванический ток* представляет собою перемещение электрического эфира по направлению тока от одной точки к другой; *сила* же тока есть произведение плотности движущегося эфира на его скорость, или,

388 ОСНОВНОЙ ЗАКОН ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА У ЭДЛУНДА

говоря иначе, сила тока пропорциональна количеству эфира, проходящего по цепи за единицу времени. Масса эфира, заключенная в замкнутой цепи, остается одинаковой, независимо от того, существует ли ток или нет. *Электродвижущие силы, под действием которых возникает ток, не могут создавать эфира; их функции ограничиваются лишь тем, что существующее уже в виде теплоты колебательное движение они превращают в поступательное.* Отсюда следует, что теплота должна исчезать в том месте цепи, где действует электродвижущая сила, что подтверждается и явлением Пельтье. То обстоятельство, что любая последующая точка провода может воспринять электричество лишь после того, как все предшествующие ей точки им уже насыщены, делает скорость перемещения электричества по проводам зависимой от свойств последних и составляет причину того, *почему до сих пор не удалось найти определенного числа для скорости распространения электричества в проводах.* Однако все опыты согласны в том, что эта скорость очень велика и не зависит от силы тока.

Переходя к электродинамике, Эдлунд говорит: «В ходе этой работы мы будем исходить из положения, которое, насколько нам известно, еще не было выдвинуто в качестве принципа для объяснения явлений природы ¹, но которое по нашему мнению обладает аксиоматической достоверностью. Положение это заключается в следующем: все, что происходит или совершается во внешнем мире, требует известного времени. Это время может быть сколь угодно малым, но никогда оно не может быть равным нулю. Время и пространство представляют собою неизбежные условия бытия явлений природы. Это — априорная истина, подтверждаемая опытом по мере того, как совершенствуются научные методы измерения времени и пространства... Это положение по своему значению может быть приравнено к тому положению, которое рассматривают как основание механической теории теплоты и которое гласит: «Ничто не возникает из ничего». Приведенное положение должно быть применено, *прежде всего*, в области электричества, так как большая скорость распространения этого явления вызывает быстрые видоизменения взаимодействий эфирных молекул».

При помощи этого положения — и это составляет наиболее интересную и плодотворную часть его работы — Эдлунду удастся электрические силы, действующие непосредственно на расстоянии, связать с состоянием движения электрических масс и, таким образом, получить формулу, подобную основному закону Вебера, не внося при этом в представление о силах, действующих на расстоянии, еще какого-либо иного допущения, кроме приведенного выше. Две молекулы m и m' на расстоянии r , находясь в состоянии покоя, взаимно отталкиваются с силой mm'/r^2 . Но когда m приближается к m' с постоянной скоростью h ,

¹ В виде совершенно общего принципа это положение действительно не было сформулировано; в этом отношении Эдлунд прав; но в электродинамике, как мы это видели выше, оно применялось и ранее до Эдлунда. Да и вообще для всех физиков, отрицавших непосредственное действие на расстоянии, этот принцип в самом общем его смысле представлялся чем-то само собою разумеющимся и совершенно неизбежным.

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА У ЭДЛУНДА 389

то создается иное соотношение: когда m находится сначала в точке x , удаленной от m' на расстояние $r + \Delta r$, а затем за время Δt приближается к m на промежуток Δr , то взаимное отталкивание возрастает

от $mm'/(r + \Delta r)^2$ до mm'/r^2 . Но если сближение происходит с достаточно большой скоростью, то отталкивание не успевает соразмерно увеличиться, и в точке q оно меньше того, какое соответствует расстоянию r . При прочих равных условиях это уменьшение является функцией постоянной скорости. Следовательно, отталкивание в точке q можно выразить

с помощью $mm'/r^2 f(h)$, где функция скорости $f(h)$ должна быть меньше



Черт. 17.

единицы. Наоборот, для случая удаления m от m' можно легко получить, что отталкивание равно $mm'/r^2 F(h)$, где $F(h)$ должно быть больше единицы. Если, далее, скорость, с которой элементы сближаются друг с другом, считать отрицательной, а обратную скорость — положительной, то обе формулы можно объединить в одной $mm'/r^2 F(h)$, где $F(h)$

для положительных значений h должно быть больше, а для отрицательных значений меньше единицы. Но еще целесообразнее будет дать последнему выражению вид $mm'/r^2 [1 + \phi(h)]$, в котором $\phi(h)$ представляет изменения электростатической силы вследствие движения и одновременно со скоростью принимает нулевое значение. Однако эта формула имеет силу лишь в случае постоянной скорости. Если допустить, что m снова приближается к m' , но уже с убывающей скоростью, и снова за то же время Δt проходит тот же путь Δr , то вблизи точки x скорость будет больше, чем около q . Хотя в данном случае молекула m за время, Δt прошла тот же путь, что и в первом случае, и, следовательно, величина $\Delta r/\Delta t$ имеет прежнее значение, тем не менее, сила отталкивания в точке q уже не будет прежней. Молекула m движется вблизи x с большей скоростью, чем около q ; поэтому в тех местах, где отталкивательная сила больше, молекула m пребывает более продолжительное время, чем в тех местах, где эта сила меньше; вследствие этого сила отталкивания в q должна, очевидно, быть больше, чем в первом случае при постоянной скорости. Таким образом, сила отталкивания зависит не только от скорости, но и от изменения последней, причем эта последняя зависимость приводит к увеличению силы отталкивания. Легко показать, что такое усиление происходит при всяком вообще

390 ТЕОРИЯ ИНДУКЦИИ

изменении скорости. Так как под скоростью здесь всегда подразумевается, конечно, относительная скорость, то последняя выражается через dr/dt , а ее изменение через d^2r/dt^2 ; поэтому общая формула взаимодействия двух электрических элементов m и m' имеет следующий вид:

$$-\frac{mm'}{r^2} \left[1 + \varphi \left(\frac{dr}{dt} \right) + \psi \left(\frac{d^2r}{dt^2} \right) \right].$$

Из этой формулы взаимодействия двух электрических молекул путем суммирования легко получается выражение для взаимодействия двух элементов тока, а из последнего, путем сопоставления его с формулой Ампера, можно определить вид функции φ и ψ . Мы не можем дальше следить за выводами, которые привели Эдлунда к формуле, совершенно аналогичной закону Вебера, и должны ограничиться указанием, что на основе двух своих гипотез о применимости принципа Архимеда к учению об электричестве и о постепенном распространении действия электрических сил Эдлунду удалось разрешить и все проблемы *гальванической индукции*. И здесь он стоит посередине между прежними и новыми воззрениями, поскольку индукцию он выводит не только из *непосредственного действия* движущегося эфира на эфир, покоящийся в проводниках, но также — из *действия промежуточной среды*. Когда ток возникает в замкнутой цепи вблизи замкнутого проводника, то, согласно его воззрению, положения равновесия эфирных молекул изменяются не только в замкнутом проводнике, но и в окружающей изолирующей среде, и индукционный ток представляет собою не что иное, как переход молекул из прежнего положения равновесия в новое. На это новое положение молекул в замкнутом проводнике вызывается не только непосредственным действием индуцирующего тока, но также изменением положения равновесия в эфире окружающей изолирующей среды. Лишь только индуцирующий ток прекращается, эфирные молекулы возвращаются в прежнее положение, и тогда в замкнутом проводнике мы имеем индукционный ток прежней силы, но противоположного направления.

Эдлунд чрезвычайно остроумно показал, каким образом старое воззрение о зависимости силы только от расстояния можно соединить с идеей Вебера о зависимости действия силы от скорости и ускорения. Тем не менее, нельзя утверждать, чтобы он содействовал укреплению чисто ньютоновских воззрений на силу, — чего он, впрочем, и не имел в виду; следует, наоборот, признать, что его точка зрения о не мгновенном, а постепенном распространении действия силы была несовместима с представлением о силе как *actio in distans* (действии на расстоянии). Ибо все, что движется в пространстве и движется со скоростью, поддающейся определению, не может быть не чем иным, как материей, и передача его не может заключаться не в чем ином, как в передаче материальных движений.

Теория Эдлунда встретила *возражения* в двух пунктах, которые показались особенно неприемлемыми приверженцам господствовавших тогда воззрений на сущность электричества. Этими пунктами были, во-

УНИПОЛЯРНАЯ ИНДУКЦИЯ 391

первых, *допущение единой электрической жидкости, тождественной, быть может, с эфиром*, и, во-вторых, *объяснение электрических токов непосредственным течением эфира*. С целью разрешения последнего вопроса Ант. Роити¹ попытался применить метод Физо, при помощи которого последний доказал, что эфир может частично увлекаться движущимися жидкостями. Он пропускал ток один раз по направлению распространения светового луча, а другой раз — в противоположном направлении, рассчитывая с помощью явлений интерференции доказать влияние направления тока на движение света, но эти опыты привели к отрицательному результату; последнему, однако, не придали большого значения как доводу против воззрений Эдлунда. Что же касается борьбы между дуалистической и унитарной теориями электричества, то мы уже раньше указали, что по этому вопросу тоже не пришли ни к какому решению. При рассмотрении теории Эдлунда К. Нейман попытался сослаться в пользу дуалистической теории электрической материи на явления *униполярной индукции*. В 1832 г. во второй серии своих «Экспер. исследований» Фарадей показал, что в проводящей цепи ток может быть индуцирован и в том случае, когда возбуждение вызывается лишь одним полюсом магнита. Один конец проводника он привел в соприкосновение с одним из полюсов магнита, а другой конец он привел в скользящее соприкосновение с серединой магнита; когда затем магнит был приведен в быстрое вращение около своей оси, то в проводнике был замечен индукционный ток. В. Вебер в 1839 г.² установил общие законы этой так называемой униполярной индукции. На основании опытов Плюкера 1862 г.³ Нейман⁴ пришел к выводу, что эти явления не могут быть объяснены унитарной теорией электричества, и В. Вебер⁵ присоединился к его мнению. Но Эдлунд⁶

¹ „Nuovo Cimento" (2), IX, 1873; „Pogg. Ann.", CL, стр. 164. Некоторые соображения Роити характерны для теоретических воззрений нашего времени. „Нет сомнения, — говорит он, — что электрические и магнитные явления представляют собою явления движения... тем не менее, при разработке теоретических проблем электричества мы все еще вынуждены прибегать к старой гипотезе о жидкостях, хотя в реальное существование последних теперь уже больше никто не верит. Все многочисленные гипотезы, которые были предложены для того, чтобы свести эти явления к движению эфира... страдают тем недостатком, что они лишены экспериментальной базы. Вращение плоскости поляризации света при помощи гальванического тока потеряло свою доказательную силу для этой теории, так как считают, что электричество влияет на световой эфир не прямо, а через посредство телесных молекул... Прежде чем оставить настоящую тему, считаю необходимым отметить, что при всем моем уважении к отрицательному мнению известных исследователей о старых электрических жидкостях... я все же считаю неправильным изложение в школах теории электричества и магнетизма на основе новых теорий; последние, правда, находятся как будто в лучшем согласии с остальными теориями, но, тем не менее, они продолжают оставаться чистыми гипотезами и менее понятны, чем старые" („Pogg. Ann.", CL, стр. 170—171). (Сравни примечание 2 на стр. 405).

² „Pogg. Ann.", LII, стр. 353, 1841: „Resultate aus den Beobacht. des magnet. Ver.", стр. 63, 1839.

³ „Pogg. Ann.", LXXXVII, стр. 352, 1862.

⁴ Там же, CLV, стр. 228, 1875 и CLIX, стр. 301, 1876.

⁵ Там же, CLVII, стр. 146, 1876.

⁶ Там же, CLVI, стр. 590, 1875; CLVII, стр. 630, 1876; CLX, стр. 617, 1877.

392 ТЕОРИЯ ГАНКЕЛЯ

в ответ на это указал, что все доводы Неймана против унитарной теории могут быть обращены и против дуалистической теории, и затем доказал, что все явления униполярной индукции могут быть вполне исчерпывающе объяснены на основе унитарной гипотезы.

У Эдлунда все электрические силы представляют собою, в конечном счете, еще *элементарные силы напряжения* эфира, но в это время существовали уже более глубоко обоснованные с кинетической точки зрения теории электричества. Подобную детально разработанную теорию представляет собою *вихревая теория* Ганкеля¹, опубликованная им в 1865 и 1867 гг. Согласно этой теории, при зарядении тела свободным электричеством на поверхности его во всех точках возникают *бесконечно малые круговые колебания (вихри)*, выполняемые большим количеством частиц эфира (с некоторым участием молекул тела). В зависимости от направления круговых колебаний тело представляется наэлектризованным положительно или отрицательно. Эти колебания на поверхности тела следует представлять себе в виде *стоячих* колебаний; но при посредстве окружающего эфира они могут сообщаться и удаленным точкам, причем благодаря силам напряжения эфира возникают силы притяжения и отталкивания. *Изолирующее* вещество можно сравнить с прозрачной стеклянной пластинкой по ее отношению к свету: электрические колебания просто проходят через него; наоборот, на *проводниках* электричества попадающие на них поступательные колебания вызывают стоячие вихри. Исходящие из наэлектризованного тела колебания вызывают на проводнике, например на металлическом шаре, колебания совершенно такого же рода; однако со стороны проводника, обращенной к наэлектризованному телу, они кажутся (так как на них смотрят с противоположной стороны) происходящими в обратном направлении, и только на противоположной стороне шара они кажутся совпадающими с колебаниями наэлектризованного тела. Поэтому первая сторона будет казаться наэлектризованной противоположно, а вторая — одноименно с индуцирующим телом. *Гальванический ток* возникает в проводнике вследствие того, что эфирные молекулы, лежащие в поперечном сечении провода, образуют при участии весомых молекул общее круговое вращение вокруг оси провода и, таким образом, в виде общего вихря распространяются по его длине. *Гальваническая индукция* объясняется тем, что это вихревое движение через поверхность провода сообщается окружающему эфиру. Позднее был предложен целый ряд аналогичных с принципиальной точки зрения *вихревых теорий* электричества, но все они страдают сложностью, неясностью и почти не поддаются математической обработке. Последнее, несомненно, и было причиной того, что физики-математики обратили очень мало внимания на эти теории. Однако и для старого, столь удобного воззрения на электрические силы как на элементарные основные свойства особых электрических материй, проявляющихся непосредственно на расстоянии, *наступали все более и более трудные времена*. Пока во всех явлениях распространения элект-

¹ „Pogg. Ann.“, CXXVI, стр. 440, 1865; CXXXI, стр. 607, 1867. — W. G. Hankel (родился в 1814 г.) — профессор физики в Лейпциге.

тричества наблюдалась только передача действий через промежуточную среду, независимо от свойств последней, до тех пор можно было действие электрических сил рассматривать как *мгновенное* и непосредственное действие на расстоянии. Однако все яснее выявлявшиеся в новейшее время влияния *поляризации так называемого диэлектрика* заставляли все сильнее думать, что распространение электрических действий целиком *зависит от среды, а, следовательно, и от времени*, т. е. смотреть на их *распространение* как на явление, происходящее только при посредстве среды. В таком случае указанный *характер распространения электрических сил* уже мог быть, по крайней мере, положен в основу математической разработки, независимо от несозревших еще для разрешения сложных вопросов о том, как эти действия возникают и как на них влияет природа материи. На такой именно основе К. Максвелл¹ и построил свои гениальные широко объемлющие математические теории электричества и магнетизма. Исходя из взглядов Фарадея на сущность электричества, Максвелл, не входя в более детальные пояснения, принимает, что всякое наэлектризованное тело приводит окружающую его и наполняющую все пространство среду в *состояние некоторого напряжения*, которое определяется пространственным расположением силовых линий Фарадея, исходящих из этого тела. *А именно, по направлению силовых линий это напряжение действует притягательно, как некоторая сила тяги, а перпендикулярно к этим линиям оно действует отталкивательно, как некоторое давление.* Дав математическое выражение для силовых линий и для обусловливаемого ими состояния напряжения диэлектрика, Максвелл затем приходит к *формулам потенциала* наэлектризованных тел, которые по своим выводам согласуются с данными опыта, по меньшей мере, в такой степени, как и законы, построенные на прежних представлениях о силе. По поводу того обстоятельства, что эта теория не в состоянии более детально связать напряжения со свойствами среды, сам Максвелл говорит следующее²: «Единственное новое в настоящем исследовании заключается в выводе математического выражения для величины натяжения, действующего вдоль силовых линий, и для давления, действующего перпендикулярно к ним, а также в доказательстве, что это особое состояние действительно способно породить те механические силы, которые наблюдаются в электромагнитном поле на проводящем немагнитном и не поддающемся намагничиванию теле. Но каким образом вызывается это вынужденное состояние, а также, каким образом оно поддерживается, об этом я ничего сказать не мог. Следует, однако, констатировать, что взаимные притяжение и отталкивание двух токов могут быть так же хорошо объяснены напряжением состоянием окружающей их среды, как и действием токов на расстоянии. Дальнейшее изучение вынужденного состояния, каким образом, скажем, оно возникает и поддерживается пол действием движения частиц среды, должно составить предмет совершенно иного исследования.

¹ „Treatise on Electricity and Magnetism“, London 1873; переведено на немецкий язык со 2-го издания: „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus“, Berlin 1883.

² „Lehrb. der Elektr. und Magnet.“, 1, стр. 338.

394 ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА

Возможно ли произвести подобное исследование, и какие новые гипотезы, быть может, потребуются для него, это не имеет никакого отношения к полученным нами выводам»¹. В другом месте он по тому же поводу говорит²: «При помощи гипотезы напряженного состояния промежуточной среды мы сделали только один шаг в выяснении той роли, какую играет среда в передаче электрической силы с одного наэлектризованного тела на другое, потому что мы еще пока не выяснили, каким образом физически возникает и поддерживается это состояние. Следующий шаг, который нам следовало бы сделать, должен был бы нам показать, каким образом это состояние возникает в результате взаимного действия частиц среды. *Он кажется мне особенно важным потому, что явления, которые до сих пор могли быть объяснены на основе допущения действия на расстоянии, были бы тогда сведены к игре молекулярных сил*». В непосредственной связи с этим темным пунктом теории Максвелла находится другой, а именно, *наша неосведомленность о взаимодействии между весомой материей и промежуточной средой*, или незнание механизма превращения электродвижущих сил в пондеромоторные, и обратно. По этому поводу Максвелл говорит³: «Под электродвижущей силой следует всегда подразумевать такую силу, которая действует только на электричество, но не на тела. Ее, следовательно, никогда не следует смешивать с тем, что мы называем *механической* силой, так как эта последняя, наоборот, действует только на тела, но никогда не действует на электричество, которое может находиться в телах. *О формальной связи между электродвижущими и механическими силами мы узнаем только тогда, когда полностью будут выяснены отношения электричества к материи*». Надежными основами своей электрической теории Максвелл считает, главным образом, *бесспорные соотношения, существующие между светом и электричеством*, прямо требующие отождествления промежуточной среды, в которой распространяются электрические действия, со световым эфиром. Из этих соотношений особенно обращают на себя внимание следующие *три*. Во-первых, скорость распространения света совпадает со скоростью, которая получается из данной теории для распространения электромагнитных возмущений в непроводнике и которая равна отношению электростатической единицы электричества к электромагнитной⁴. Во-вторых, со-

¹ К этому Максвелл прибавляет: „Для того чтобы дать читателю понятие о силе предполагаемого натяжения, я отмечу, что в наших широтах магнитная сила земли вызывает натяжение земных магнитных силовых линий примерно в 0,9 мг на 1 кв. дюйм. Наиболее сильное магнитное напряжение, достигнутое Джоулем с помощью электромагнитов („Sturgeon's Ann. of Electricity", V, стр. 187, 1840), составляет около 100 кг на 1 кв. дюйм".

² „Lehrbuch der Elektr. und Magnet.", I, стр. 163.

³ „Lehrb. der Elektr. und Magnet.", II, стр. 257.

⁴ Для доказательства Максвелл приводит следующую таблицу (там же, стр. 543):

Скорость света $\left(\frac{\text{метр}}{\text{секунда}}\right)$:		Отношение электрических единиц:	
Физо	314 000 000	Вебер	310 740 000
Аберрация и т. д. } .	308 000 000	Максвелл	288 000 000
Солнечный параллакс } .			
Фуко	298 000 000	Томсон	282 000 000

гласно данной теории показатель преломления (для света с наибольшей длиной волн) должен быть равен корню квадратному из диэлектрической постоянной соответствующей среды, что для парафина доказано с большой точностью ¹. Наконец, *в-третьих*, влияние магнетизма на плоскость поляризации света указывает на столь тесную связь между ними, что Максвелл пытается даже разработать электромагнитную теорию света, исходя из допущения, что свет представляет собой электромагнитное возмущение ². Максвелл заканчивает свою работу следующими ясными словами ³. «Итак, мы видели, что математические выражения для электромагнитного действия сил привели Гаусса к убеждению, что распространение электрических действий со временем должно составить действительную основу теории электродинамики. Но распространение мы можем только представить себе либо в виде материального тела, летящего в пространстве, либо в виде распространения некоторого состояния движения или напряжения, — при посредстве среды, находящейся в пространстве. В теории Неймана принимается, что математическое понятие «потенциал», которого мы ни в коем случае не можем себе представить как нечто материальное, перебрасывается от частицы к частице (независимо от существования среды)... Риман и Бетти, по-видимому, представляли себе это распространение несколько более схожим с распространением света... Однако при всех этих теориях естественно возникает вопрос: если нечто переносится через промежуточное пространство с одной частицы на другую, то в каком состоянии находится это нечто, после того как оно оставило одну частицу и еще не достигло другой?... Действительно, если вообще энергия передается от одного тела к другому не мгновенно, а в конечное время, то должна существовать среда, в которой она временно пребывает, оставив первое тело и не достигнув еще второго... Поэтому и эти теории должны привести к понятию среды, в которой и происходит распространение. Но коль скоро гипотеза существования среды принята, мы должны, мне кажется... всячески стараться составить себе ясное понятие обо всех деталях ее действия. Это и было моей главной целью при составлении настоящего труда».

Почти все приведенные до сих пор теории электричества принадлежали физикам-математикам, которые стремились разработать определенное представление о сущности электричества, необходимое в качестве твердой базы для их дедукций. Однако новейшие экспериментальные достижения, не поддававшиеся полностью объяснениям на основе обычных допущений, побудили и *физиков-экспериментаторов* заняться новыми для них общими вопросами о природе электричества. Эти новые экспериментальные достижения сводились, главным образом, к *явлениям электрических разрядов в вакууме или в разреженном пространстве*, на важное значение которых указал еще Фарадей. Однако на первых

¹ „Lehrb. d. Elektr. und Magnet.“, II, стр. 543—544.

² Там же, II, стр. 357. и след. Максвелл указывает, что Л. Лоренц в 1867 г. („Pogg. Ann.“, CXXXI, стр. 243) из уравнений Кирхгофа для движения электрических токов вывел аналогичную электромагнитную теорию света, но отмечает, что он, Максвелл, свою теорию опубликовал уже в 1865 г. в „Phil. Trans.“.

³ Там же, II, стр. 606—607.

396 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В РАЗРЕЖЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

порах исследование касалось преимущественно старых проблем, а именно, проводимости безвоздушного пространства, влияния магнита на явления разряда, а также слоистости света в гейслеровских трубках.

Прежними опытами П. Эрмана ¹, П. Рисса ² и других была, по-видимому, строго доказана *невозможность прохождения электричества через пустое пространство*. Но так как теперь заметили, что в разреженных газах с усилением разрежения разряды электричества не только не ослабевают, но скорее усиливаются, то стали сомневаться в сделанных раньше выводах, а многие физики были даже склонны считать, *что пустота представляет собой наиболее совершенный проводник электричества*. Однако и эта точка зрения вскоре была поколеблена, когда из дальнейших опытов выяснилось, что проводимость газов не повышается непрерывно с разрежением, а для каждого газа имеет свой определенный максимальный предел. В 1866 г. А. де-ла-Рив ³ признал в качестве такого предела для водорода давление в 2,5 мм ртутного столба, а в 1861 г. Гассиот ⁴ дал описание новых своих опытов, из которых вытекало, что пустота совсем не проводит электричества. Объяснение этих интересных явлений было менее трудно, чем это показалось с первого взгляда. Если допустить, что проведение электричества в газах осуществляется не действительным течением электричества, а путем конвекции, — таким образом, что молекулы газа при своих взаимных столкновениях на одной стороне принимают электричество, а на другой его отдают, тогда с увеличением разрежения газа и, следовательно, удлинением среднего пути молекул должна увеличиваться и скорость проведения электричества; но, с другой стороны, ввиду уменьшения массы газа, при посредстве которого происходит проведение, количество проводимого электричества должно уменьшаться; под действием этих двух противоположно направленных причин у каждого газа может создаться свой максимум проводимости электричества при известной степени разрежения. Эдлунд, конечно, принципиально не мог согласиться с таким объяснением. Так как, согласно его теории электрические явления вызываются только поступательным движением эфира, но отнюдь не газовых частиц, то распространение электричества в так называемой пустоте должно быть легче, чем в пространстве, заполненном веществом. Он, правда, не отрицает ⁵, что при *бесконечно большом разряде* ток под конец встречает *бесконечно большое сопротивление*, но в противовес этому указывает на то обстоятельство, что в пустоте все-таки можно вызвать электрические явления через влияние; что касается указанного выше сопротивления, то он полагает, что оно не представляет собой сопротивления вакуума, а *сопротивление перехода* между твердыми электродами и газом, которое по мере разрежения растет до бесконечности и перевешивает ослабление сопротивления в газе, вызванное его раз-

¹ „Gilb. Ann.", XI, стр. 163, 1802.

² „Dove's Repertorium", II, стр. 13 и след., 1838.

³ „Pogg. Ann.", CXXXI, стр. 447, 1867.

⁴ „Proc. of the Roy. Soc.", XII, стр. 329; „Pogg. Ann.", CXII, стр. 156.

⁵ „Ann. de chim. et de phys." (5), XXIV, стр. 199; XXVII, стр. 114 и др.

режением. К его мнению полностью присоединился и Э. Гольдштейн¹. Последний вместе с тем выступил с возражением против довода, который был выдвинут против участия одного лишь эфира в электрическом разряде и который заключался в том, что при разрядах каждый газ дает свой собственный характерный спектр. По его мнению, этот факт очень просто объясняется тем обстоятельством, что сам эфир совершенно не обладает оптической лучеиспускательной способностью и что, следовательно, движения эфира сами по себе не дают света. Только тогда, когда эти движения передаются в разрядных трубках по резонансу остаткам газа, возникают те световые явления, которые, конечно, тогда дают спектр, свойственный соответствующему газу. Э. Видеман² тоже склоняется к этому мнению, он полагает, что незначительное нагревание, которое дает положительный разряд в сильно разреженных газах, представляет собой прямое доказательство хорошей теплопроводности последних. Тем не менее, большинство физиков, по-видимому, не признает еще проводимости вакуума (что, конечно, было бы почти равносильно отказу от прежних воззрений на природу электричества) и склоняется к тому, чтобы выждать более убедительных экспериментальных доказательств этой теории³.

Различие света на аноде и катоде в разреженном воздушном пространстве и существование темного пространства между ними были открыты Фарадеем в 1838 г. В 1843 г.⁴ Абриа, доведя разрежение в электрическом разряде до 2 мм, наблюдал чередующиеся в нем светлые и темные слои. Однако на эти явления обратили так мало внимания, что Ке⁴ мог приписать их открытие себе, а другие физики приписали его Грове⁶. Но с тем большим рвением принялись за объяснение этих явлений, когда интерес к ним вновь пробудился. Рисс⁷ различал *непрерыв-*

¹ „Wiedem. Ann.", XII, стр. 249, 1881; XXIV, стр. 79, 1885. В последней статье Гольдштейн определенно подчеркивает, что он раньше Эдлунда принял в качестве субстрата разряда в разреженных газах свободный эфир. „В противоположность мнению, — говорит он, — будто в пространстве, заполненном газом, субстратом разряда служат частицы газа, — все равно, действуют ли они при этом путем конвекции, или же они непосредственно проводят ток, я, мне кажется, первый признал субстратом тока свободный эфир... Многократно и почти исключительно цитируемая в новейшее время работа по этому же вопросу Эдлунда была представлена им Шведской академии два месяца спустя после появления моей работы в „Wied. Ann." (также „Sitzungsber. d. Berl. Akad.", стр. 63, 1884).

² „Wiedem. Ann.", VI, стр. 298, 1879; G. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität, IV, стр. 591, Braunschweig 1885.

³ А. Феппл (A. Föppl, „Wied. Ann.", XXXIII, стр. 492, 1888) на основании новых опытов снова склоняется к мысли, что вакуум не может быть хорошим проводником электричества.

⁴ „Ann. de chim. et de phys." (3), VII, стр. 462.

⁵ „Comptes rendus", XXXV, стр. 949, 1852; „Pogg. Ann.", дополнит. том IV, стр. 507. — Jean Ant. Quet (1810—1884) — ректор Безансовской академии.

⁶ „Phil. Trans.", стр. 87—101, 1852.

⁷ „Pogg. Ann.", XCVIII, стр. 571, 1856; СП, стр. 177; CVI, стр. 56. Гассиот получал слоистый свет не только при помощи индукционных аппаратов, но и при помощи постоянных токов сильных вольтовых батарей. Отсюда он вывел заключение, что и обыкновенные разряды последних прерывисты и что эти разряды тоже состоят из ряда пульсаций, скорость которых зависит от величины сопротивления („Pogg. Ann.", CXII, стр. 158, 1861).

398 ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВАКУУМА

ные и прерывистые разряды, в зависимости от того, протекает ли электричество в хороших проводниках сплошным током или же оно пробивается через дурные проводники с перерывами. Слоистость света он объяснял прерывистыми частичными разрядами, проходящими в газах отдельно друг от друга. Ке и Сегэн¹ объясняли слои света *слоями газов*, которые, подобно твердым непроводникам, под действием электрической индукции распадаются на чередующиеся слои положительного и отрицательного электричества. Огюст де-ла-Рив² экспериментальным путем установил, что темное катодное пространство проводит лучше, чем светлый слой, и поэтому сравнил слоистый свет с цепью, составленной попеременно из платиновых и серебряных звеньев, в которой только первые накаливаются от гальванического тока. Совершенно иное объяснение, в большей мере примыкающее к механической теории газов, дали этому явлению Г. Видеман и Рюльман³. По их представлению частицы газа отбрасываются от обоих электродов с такою скоростью, что они начинают светиться; достигнув соседнего слоя покоящегося газа, они теряют свою живую силу, но при этом они обмениваются скоростями с противоположными электрическими частицами газового слоя, так что вместо них дальше идут вперед, излучая свет, соответствующие электрические частицы газового слоя. Места, где обмениваются друг с другом потоки молекул, несущиеся с противоположных электродов, соответствуют темным слоям разрядной трубки. Однако в начале семидесятых годов, благодаря усовершенствованию способов получения вакуума, эти явления так усложнились, что объяснение их без допущения новых начал, новых состояний весомой материи или нового непосредственного воздействия эфира стало невозможным. Ряд подобных работ открыл в 1869 г. Гитторф⁴ своим большим исследованием «Über die Elektrizitätsleitung der Gase» («Об электропроводности газов»). В нем он показал, *что темный мерцающий свет у катода, при понижении давления ниже 1 мм ртутного столба, очень быстро распространяется и, наконец, заполняет всю трубку; что свет этот, попадая на стенки трубки, повсюду вызывает довольно сильную флуоресценцию; и, наконец, он подробно описал*

¹ „Ann. de chim. et de phys." (3), LXV, стр. 317, 1862.

² „Pogg. Ann.", CXXXI, стр. 446 и 577, 1867. — Aug. de la Rive (1801—1873) — сначала профессор физики в Женеве, потом частное лицо.

³ „Ber. d. K. Sächs. Gesellsch. d. W.", XXIII, стр. 333, 1871; „Pogg. Ann.", CXLV, стр. 394; продолжение статьи одного лишь Видемана в „Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 85 и 252, 1876. — R. Rühlmann — преподаватель гимназии в Хемнице.

⁴ „Pogg. Ann.", CXXXVI, стр. 1 и 197; продолжение в „Pogg. Ann.", юбил. том, стр. 430, 1874. Очень характерны слова Гитторфа о теоретической важности явлений разрядов: „Наиболее темной частью современного учения об электричестве является бесспорно процесс, с помощью которого осуществляется прохождение тока в газообразных телах. В то время как для твердых и жидких проводников, будь то металлы или электролиты, фактические данные приведены в связь и охвачены законом Ома, наши сведения по вопросу о проводимости газов, несмотря на труды превосходных физиков, крайне отрывочны и зачастую базируются на неполных и разрозненных наблюдениях. Теория электрической искры, этого наиболее давно известного и наиболее резко бросающегося в глаза явления, станет возможной лишь при более совершенном состоянии наших знаний" („Pogg. Ann.", CXXXVI, стр. 1).

ЛУЧИСТАЯ МАТЕРИЯ КРУКСА 399

*разнообразные влияния магнита на свет гейсслеровских трубок, что, впрочем, отчасти было уже известно и раньше. Однако гораздо большую сенсацию вызвали соответствующие наблюдения Крукса ¹, описанные им в конце семидесятых годов, а также предложенное им широкое теоретическое обоснование этих явлений. Крукс тоже исходил из наблюдения, что с усилением разрежения темный свет катода все больше распространяется и, наконец, совершенно вытесняет анодный свет. Так как с разрежением газа увеличивается и средняя длина свободного пути его частиц, то естественно было распространение темного катодного пространства поставить в связь с удлинением *свободного пути*; но Крукс полностью отождествил обе эти величины. По мнению Крукса, когда благодаря разрежению свободные пути газовых частиц становятся сравнимыми с размерами сосуда, тогда молекулярное состояние газов коренным образом изменяется; в этом случае вещество, находящееся в трубке, уже нельзя относить к газообразному агрегатному состоянию, и оно подчиняется совершенно иным законам, чем газ; Крукс называет это ультрагазовое состояние четвертым агрегатным состоянием, а материю в этом состоянии он называет «лучистой материей» ². Молекулы этой ультрагазовой материи отбрасываются от электродов с огромной скоростью, причем с катода еще с большей скоростью, чем с анода. Темное катодное пространство есть, следовательно, то пространство, по которому отрицательные молекулы газа, отлетая от катода, несутся свободно по прямым линиям, ни с чем не сталкиваясь, и на границе которого они задерживаются летящими им навстречу положительными молекулами. Относительно физических свойств лучистой материи Крукс устанавливает следующие законы: 1) *Лучистая материя всюду, где она появляется, вызывает сильное фосфорогенное действие*. Если разрежение довести до того, что темное катодное пространство достигнет противоположной стенки, то последняя под действием ударов газовых частиц начинает светиться; в этом потоке молекул фосфоресцируют и другие*

¹ Первое сообщение по поводу этих наблюдений было сделано Круксом Королевскому обществу 5 декабря 1878 г.; оно напечатано в извлечении в „Proc. of the Roy. Soc.“, XXVIII, стр. 103, 1878 под заглавием: „On the illumination of lines of molecular pressure and the trajectory of molecules“; подробно — в „Phil. Trans.“, стр. 135, 1879. В этих же журналах были помещены дальнейшие многочисленные статьи Крукса на эту тему („Proc. of the Roy. Soc.“, XXVIII, стр. 477; XXX, стр. 469 и т. д.). Обширный доклад, сделанный Круксом 22 августа 1879 г. в Шсффильде в Британской ассоциации, был переведен на немецкий язык и издан под заглавием: „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand“, Leipzig 1879.

² Выражение „лучистая материя“ Крукс позаимствовал у Фарадея, который применил его в 1816 г. в своих первых опытах над свойствами материи. В 1848 г. Зантедески тоже открыл „un quarto stato della materia“ (четвертое состояние материи), в которое она приходит при очень высоких температурах. Установив в обжигательной печи друг против друга две глиняные пластинки, причем одна из них была снабжена рисунком из окислов железа и кобальта, а другая была не окрашена, он заметил, что в сильном жару печи рисунок точно отпечатался и на неокрашенной пластинке. Это явление он приписал излучению окислов и для объяснения этого явления допустил существование четвертого состояния, „состояния излучения материи“ („Die Fortschritte der Physik im Jahre 1848“ — из „Raccolta fisico-chimico-italiana“, III, 1848).

400 ОПЫТЫ ГОЛЬДШТЕЙНА

вещества, например алмаз, глинозем и пр. Материя в ее обычном газообразном состоянии не вызывает никакой фосфоресценции, так как скорость ее молекул слишком мала. 2) *Лучистая материя движется прямолинейно*. Так, например, если в трубку с сильно разреженным воздухом впаяны в любых местах три положительных и один отрицательный полюс, то при умеренной степени разрежения вся трубка заполняется светом; при сильном же разрежении фосфоресцирует только та часть стенки, которая лежит против отрицательного электрода; ее положение, следовательно, не зависит от расположения трех положительных электродов. 3) *Падая на твердое тело, лучистая материя дает тень*. Если на пути лучей, исходящих от катода, поставить крест (прозрачный), то на фосфоресцирующей стенке наблюдается его тень. 4) *Лучистая материя производит сильное механическое действие* — она приводит в движение поставленную на ее пути маленькую световую мельницу. 5) *Лучистая материя отклоняется магнитом; параллельные потоки лучистой материи относятся друг к другу не как гальванические токи, а как одноименно наэлектризованные тела*. 6) *В тестах, на которые она падает, лучистая материя развивает теплоту*. Если катоду придать форму вогнутого зеркала, то при достаточной силе разряда в фокусе этого зеркала могут быть расплавлены даже сплавы иридия с платиной¹.

Крукс ожидал очень многого от вновь открытого им состояния материи, от *нового мира*, к которому применима теория материальности света — мира, который мы в состоянии наблюдать только извне, но в который мы никогда не будем в состоянии проникнуть². Однако большинство других физиков, и, прежде всего немецких, было весьма мало склонно к принятию этого нового мира, полагая, что покуда можно еще обойтись с тремя прежними агрегатными состояниями, не прибегая к четвертому. Э. Гольдштейн, описавший уже ранее Крукса некоторые особенности катодного света в 1880 г., показал³, что предложенное Круксом отождествление длины темного катодного пространства с длиной свободного пути газовых молекул ни в коем случае не может быть принято. Он установил на пути катодных лучей в трубке фосфоресцирующую пластинку таким образом, что она частично еще лежала в темном катодном пространстве. Тогда обнаружилось, что это пространство не имеет резко очерченной границы и что сила света изменяется лишь постепенно. При разрежениях не ниже $1/125$ мм, когда длина свободного пути, по Максвеллу, должна быть равна 5,7 мм, толщина темного слоя оказалась в 10 раз большей и пластинка ярко фосфоресцировала даже на расстоянии 0,9 м от катода. Кроме того,

¹ По „Jahrb. der Erfindungen“, XVI, стр. 185 и дальше, 1880.

² „Явления в этих разреженных трубках, — говорит Крукс, — открывают перед физикой новый мир — мир, в котором материя существует в четвертом состоянии, к которому применима корпускулярная теория света, в котором свет не всегда движется по прямой линии, — мир, в который мы никогда не будем в состоянии войти и по отношению к которому мы должны удовольствоваться наблюдениями и опытами со стороны“.

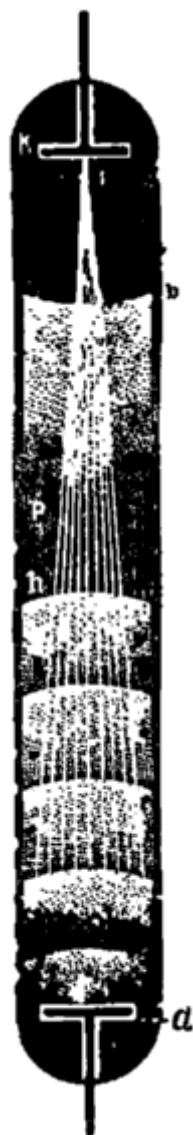
³ „Monatsber. d. Berl. Akad.“, стр. 82, 1880; также „Wiedem. Ann.“, X), стр. 844.

катодные лучи в действительности заканчивались вовсе не на границе темного слоя, — при очень сильных разрежениях они оказались в состоянии пронизать даже слоистый свет анода. В. Ф. Гинтль¹ указал, что все явления в круковых трубках можно объяснить и без помощи ультрагазового состояния материи, если только допустить, что электрический ток непрерывно срывает с катода металлические частицы, которые затем уходят от полюса и движутся прямолинейно до тех пор, пока какое-либо препятствие не изменит их движения или же их поглотит. Пулуй² развил дальше эту гипотезу, связав ее с унитарной теорией электричества Эдлунда. Согласно теории Пулуя химические силы развивают в гальванической батарее поток эфира, который, входя в проводник с большим сопротивлением, должен здесь застаиваться и образовать положительный полюс, а при выходе из этого проводника должен разрезаться и образовать отрицательный полюс. Поэтому-то в светящейся дуге электрической лампы, где воздушное пространство между остриями углей представляет большое сопротивление, положительный полюс образуется в месте выхода электричества. Но для индукционного тока в гейсслеровских трубках создаются обратные условия, так как при высоком напряжении тока воздушное пространство в трубках представляет меньшее сопротивление. Здесь, на месте входа эфирного потока в газовый столб, образуется недостаток эфира, а вместе с тем и свободное отрицательное напряжение, а на другом конце возникает свободное положительное напряжение. Между обоими этими концами должно существовать, по крайней мере, одно место, где напряжение равно нулю, — это и есть граница темного катодного пространства; слоистость света указывает на то, что таких мест с нулевым напряжением имеется много. Сильный поток эфира, исходящий из отрицательного полюса, срывает с последнего частицы его вещества, которые, разлетаясь от катода по прямолинейным путям, вызывают явления мнимой лучистой материи, но истинная природа которых неопровержимо проявляется в красивых металлических зеркальных налетах, образующихся на стенках трубок³. При ударе катодных частиц о стенки их живая сила превращается в теплоту; однако эта теплота недостаточно велика, чтобы вызвать фосфоресценцию, поэтому последнюю следует приписать эфиру, который увлекают с собою катодные частицы. В самом деле, при столкновении этих отрицательных электродных частиц со стеклянной стенкой происходит, помимо сотрясения материальных моле-

¹ „Studien über Crookes' strahlende Materie“, Prag 1880.

² „Strahlende Elektrodenmaterie“, „Wien. Ber.“, LXXXI, 2 отдел, стр. 864, 1880,

³ Относительно срывания током частиц с катода аналогично высказался уже Плюкер в 1858 г. („Pogg. Ann.“, CV, стр. 67): „Мое мнение, что металлические частицы не переходят с одного электрода на другой, как видно, подтверждается Гассиотом („Proc. of the Roy. Soc.“, март 1858). Металлические частицы срываются только с одного электрода, отрицательного, и направляются на соседние части внутренней стенки трубки; этот переход частиц происходит, из какого бы металла ни состояли электроды. Соседняя часть стенки стеклянной трубки постепенно чернеет под влиянием налета чрезвычайно тонко распыленного металла, а при большой толщине этого налета, в конце концов, образуется красивое металлическое зеркало“.



кул, обмен эфира между стенками и молекулами, вызванные этим сотрясения эфирных оболочек превращают каждое место стенки в центр новых эфирных волн, которые мы и воспринимаем в качестве света фосфоресценции.

Если приведенные объяснения все еще базировались на основной идее Рюльмана и Г. Видемана, что катодные лучи вызываются движением материальных частиц, сорванных с электродов, то Э. Видеман считал возможным отказаться и от этой идеи; по его мнению, *катодные лучи представляют собою не что иное, как лучи света* и, прежде всего потому, что при незначительности массы переносимой весомой материи пришлось бы, для объяснения нагревания стеклянных стенок трубки, приписать сорванным материальным частицам огромные скорости. Э. Видеман описывает процесс разряда следующим образом ¹. Поступающее из машины электричество, которое можно рассматривать как свободный эфир, накапливается на поверхности электродов и вызывает в окружающей среде диэлектрическую поляризацию, заключающуюся в том, что эфирные оболочки отдельных газовых молекул деформируются, между тем как вращение молекул около их осей происходит в прежнем направлении. Когда плотность электричества на электродах достигает известной степени, происходит его разряд, т. е. изменение диэлектрической поляризации распространяется по эфирным оболочкам газовых молекул и приводит их, таким образом, в колебания ², а одновременно и свободный эфир может переходить от молекулы к молекуле. Наблюдавшееся в разрядных трубках столь большое различие между положительным и отрицательным электричеством объясняется, быть может, тем, что распространение последнего обуславливается только распространением диэлектрической поляризации, между тем как первое связано также с переходом свободного эфира. Световые явления в кружковых трубках с пластинчатой формой электродов протекают следующим образом ³ (см. приложенный черт. 18). Сначала возле катода располагается темное, почти лишенное света

пространство, темное катодное пространство *k*; за ним следует резко ограниченный со стороны катода слой, светлый катодный слой *b*; от последнего идет по направлению к аноду постепенно ослабевающий свет, мерцающий свет *bp*; последний в свою очередь отделяется темным промежутком *bp* от слоистого столба анодного света. Наконец, все это пронизывается темными катодными

¹ „Wiedem. Ann.", X, стр. 250, 1880

² Живая сила этих колебаний, которая не зависит от поступательных тепловых движений молекул, объясняет установленное Видеманом свечение газа при незначительных температурах, лежащих далеко ниже 100° („Wiedem. Ann.", VI, стр. 298). Однако при столкновении молекул и эта живая сила превращается в поступательное тепловое движение.

³ „Wiedem. Ann.", XX, стр. 756, 1883.

ТЕОРИЯ КАТОДНЫХ ЛУЧЕЙ ВИДЕМАНА 403

лучами *Im*, которые исходят от катода и фосфоресцируют лишь при встрече с какими-либо телами. Объяснение этих явлений вытекает из приведенного представления о сущности электрического тока. С анода распространяются волны диэлектрической поляризации, сопровождаемые потоками свободного электричества, которые отражаются от светлого катодного слоя. Между этими отражениями и вновь прибывающими волнами происходит интерференция, образуются волны максимального и минимального движения, по отношению к которым протекающее электричество ведет себя, конечно, неодинаково: в первых местах газы светятся, во вторых нет. Темное пространство между анодным и катодным светом является местом первой интерференции. Катодные лучи ¹ не имеют никакого отношения к электрическому току или к переходу самого электричества; они представляют собою лучи света со столь короткой длиной волны, что они невидимы; но, падая на весомую материю, они замедляются в своих колебаниях и превращаются в светящиеся волны. С этим допущением вполне согласуется то обстоятельство, что катодные лучи с их поперечными колебаниями свободно пронизывают анодный свет, состоящий из продольных колебаний; что, при незначительной длине волны, катодные лучи поглощаются даже тончайшими слоями вещества; что они вызывают фосфоресценцию, флюоресценцию и химическое разложение ²; что, подобно обыкновенным световым лучам, они отражаются и т. д.

Итак, хотя, таким образом, экспериментальные физики все больше и больше приближались к *унитарной*, а, следовательно, и к *эфирной теории* электричества, тем не менее, к *кинетической* теории в собственном смысле они еще не пришли; источником электрических сил все еще служили упругие *силы* эфира или же вопрос в этом направлении вообще не обсуждался. Только путем аналогий пытались со-

¹ „Wiedem. Ann.", XX, стр. 781.

² На основании явлений сильной химической диссоциации, проявляющихся всегда в спектрах калильного света на отрицательном полюсе, Артур Шустер (профессор в Манчестере) стал снова склоняться к старым теориям разряда в газах. По его мнению, движение электричества в газах сопровождается разложением молекул и обменом атомов. На отрицательном полюсе разложение, по-видимому, происходит наиболее сильно. Вследствие быстрого падения потенциала вблизи катода отрицательные атомы должны оставлять его с большой скоростью и темное катодное пространство наполнено такими атомами. Граница этого пространства представляет отрицательный полюс для положительного разряда. Когда темное пространство мало и не достигает положительного полюса, то разряд идет от последнего к отрицательному полюсу. Когда же, при более значительных разрежениях, темное пространство заходит за положительный полюс, то разряд идет от него к соседним точкам темного пространства и, таким образом, в сторону от отрицательного полюса („Nature", XXX, стр. 230, 1884; „Proc. of the Roy. Soc.", XXXVII, стр. 317, 1884). О. Леман исследовавший очень подробно самые разнообразные формы разряда в зависимости от силы электричества, плотности газа, расстояния, числа и формы электродов, формы сосуда, температуры и пр., не исследовав, однако, указанных только что явлений в сильно разреженных газах,— утверждает, что все особенности электрических разрядов в газах могут быть полностью объяснены лишь на основе теории Фарадея, согласно которой разряд вызывается своеобразной поляризацией диэлектрика („Wiedem. Ann.", XXII, стр. 305, 1884).

404 ОПЫТЫ БЬЕРКНЕСА

здать возможность кинетических столкновений для притягательных и отталкивательных сил электричества. Уже неоднократно обращали внимание на известное подобие формул для течения воды и воздуха по узким трубкам с формулами, характеризующими течение теплоты и электричества. Кроме того, упомянутые нами выше акустические притяжения и отталкивания показали, что колеблющаяся среда может действовать притягательно и отталкиовательно благодаря одним только своим движениям, без участия какой-либо особой силы. Теперь же в подтверждение этого последнего явления стали приводить много других примеров, которые должны были явиться прямой иллюстрацией электрических действий. Проф. К. А. Бьеркнес из Христиании производил в 1881 г. ¹ на Парижской электрической выставке опыты с вибрирующими барабанами, помещенными под водой. Барабаны эти состояли из металлических колец, около 2 см диаметром, с натянутыми на обеих сторонах каучуковыми пластинками; к кольцам были припаяны трубки, которые служили как для поддержания барабанов, так и для попеременного сгущения и разрежения в них воздуха. Когда в двух таких барабанах происходят одновременно сгущение и разрежение, то они сближаются, в противном случае они отталкиваются. Так как при этом действующие силы изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния между барабанами, то пульсирующие тела можно приравнять к магнитным полюсам или к наэлектризованным телам. Когда подобный барабан был разделен пополам перегородкой, то при попеременном сгущении и разрежении воздуха в обеих половинах барабан вел себя, как магнит с *двумя полюсами*, — одной стороной он притягивал, а другой отталкивал. Подобно пульсирующим барабанам, действовали друг на друга под водою и маленькие шарики, совершавшие маятникообразные колебания около поперечного рычажка; при одинаковом направлении своих колебаний они взаимно отталкивались, а при противоположном — притягивались. Так как при этом противоположные стороны шариков всегда находятся в противоположных фазах своего движения, то такой колеблющийся шарик всегда подобен двухполюсному магниту. Движения барабанов или шариков сообщаются, конечно, воде, а через нее и другим находящимся в ней телам. Пробковый шар, вследствие своей легкости, воспринимает колебания сильнее, чем вода, и удаляется от пульсирующего тела, но тело более тяжелое, чем вода, по-видимому, притягивается. Когда вблизи пульсирующего барабана горизонтально подвешивается палочка из пробки, то она, подобно магнитному телу, располагается вдоль по оси, металлическая же палочка, подобно диамагнитному телу, располагается экваториально. Наконец, Бьеркнесу удалось выявить характер движения воды около пульсирующего тела и показать, что эти движения вблизи пульсирующего тела совершенно соответствуют магнитным силовым линиям. В следующем году подобные же опыты были произведены в воздухе Августом Штро ² в Лондонском обществе теле-

¹ „Nature". XXIV, стр. 360, 1881; „Beibl. zu Wied. Ann.", VI, стр. 47, 1882 „Jahrb. d. Erfind.", XVIII, стр. 260, 1882.

² „Journ. of the Soc. of Telegraph Engineers", XI, стр. 192, 1832; „Jahrb. d. Erfind.", XVIII, стр. 265, 1882.

графистов. Он применял для этого маленькие деревянные чашечки с натянутыми на их отверстия упругими перепонками; с противоположной стороны каждая чашечка при помощи гибкой трубки сообщалась с полостью, в которой звучащая труба поддерживала правильные колебания воздуха. Здесь в воздухе получались те же явления притяжения и отталкивания, какие раньше были получены Бьеркнесом под водою. Покоящееся тело, рука, карта и пр. всегда, подобно немагнитному телу, вызывали притяжение; линии давления вполне соответствовали магнитным силовым линиям. Наконец, в 1882 г. Б. Эли¹ показал совершенно такие же явления на шарах, вращающихся под водою. Два вращающихся рядом шара при одинаковом направлении вращения отталкиваются, а при противоположном направлении притягиваются; два шара, расположенных один над другим и вращающихся около общей вертикальной оси, дают прямо противоположный эффект.

Совершенно ясно, что все эти *аналогии* между действием колеблющихся и наэлектризованных тел не могут еще заменить кинетической теории электричества. Не приходится также сомневаться и в том, что подобная теория едва ли встретит всеобщее признание раньше, чем сила тяготения тоже получит кинетическое объяснение. Но для того чтобы правильно оценить *плодотворность* и *ферментативное значение* таких аналогий, достаточно вспомнить плодотворное влияние примененных Т. Юнгом акустических аналогий на развитие волновой теории света. Наглядным свидетельством того, насколько общими стали в теории электричества скептическое отношение к непосредственному действию на расстоянии и потребность в кинетической теории силы, могут послужить нижеприведенные слова Г. Видемана, заимствованные из его обширного руководства «Die Lehre von der Elektrizität»; эти слова тем более заслуживают внимания, что при теоретических своих выводах Видеман все еще исходит из старого допущения об электрических жидкостях, непосредственно действующих на расстоянии: «Благодаря теоретическим изысканиям Максвелла и Гельмгольца мы получили возможность свести распространение магнитных и электрических возмущений к уравнениям, совершенно тождественным уравнениям двух взаимно перпендикулярных световых колебаний. Поэтому представляется естественным свести магнитные и электрические возмущения к соответствующим движениям светового эфира... Если удастся еще в большей мере свести электрические явления к движениям эфира, то не только произойдет слияние двух обширных областей физики, но мы получим также возможность свести все физические явления к движениям двух видов материи, молекул и атомов тел и частиц эфира»².

¹ „Journ. de Phys." (2), I, стр. 71, 1882; „Beibl. zu Wied. Ann.", VI, стр. 387, 1882.

² „Die Lehre v. d. Elektrizität, IV, стр. 1203, 1885. В новейшее время Г. Герц (профессор в Бонне, „Wiedem. Ann.", XXXI, стр. 421 и 543; XXXIV, стр. 155, 273, 551 и 607; XXXVI, стр. 1 и 769; XXXVII, стр. 395) путем простых и надежных опытов установил, что электрические силы, как на это указывал Фарадей, представляют собою самостоятельно существующие в пространстве поляризации

406 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И ВНУТРЕННЕЕ СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ

Нам остается еще упомянуть о целом ряде отдельных наблюдений, характерных для современного состояния теории электричества, наблюдений, которые указывают на тесную *связь электрических явлений с внутренними движениями и состояниями материи*, но представляют еще известные трудности для объяснения за отсутствием у нас достаточной осведомленности о взаимодействии между весомой материей и эфиром. Гагенбах ¹ показал, что *возникновение электричества от трения* зависит не столько от природы веществ, сколько от структуры и вида их поверхности. Так, например, стекло, натираемое кошачьим мехом, в зависимости от способа натирания и вида поверхности, наэлектризовывалось то положительно, то отрицательно. Бумага, в зависимости от материала, из которого она была сделана, а также в зависимости от ткани, вела себя тоже различно. Черный и белый шелк стоят в ряду напряжений далеко друг от друга. И металлы, при натирании их различными непроводниками, наэлектризовываются противоположно. П. Вольпичелли ² нашел, что все металлические проволоки при изгибании дают слабые токи, причем последние, по крайней мере, когда изгибания не следуют часто друг за другом, имеют не термоэлектрическое происхождение, так как они исчезают вместе с изгибанием и меняют свое направление, когда сгибание сменяется разгибанием. Ускорение процесса сгибания усиливает ток. П. Жулен ³ указал, что столь часто наблюдаемое *сильное развитие электричества на передаточных ремнях* быстро вращающихся колес машин происходит не столько от трения, так как оно появляется и в том случае, когда бумага с сушильного барабана снята, — сколько вследствие быстрого перерыва соприкосновения ремня с ободом. Квинке уже

(промежуточной среды); что действие электрической индукции распространяется в пространстве с конечною скоростью и что оно, подобно свету, может дать явления отражения, а также интерференции. „Нашим описанным только что опытам, — говорит он (указанное место, XXXIV, стр. 622), — соответствует в акустике тот опыт, с помощью которого демонстрируют, что с приближением камертона к стене на некоторых определенных расстояниях от нее тон его усиливается, на других ослабляется. В оптике же наши опыты находят свою аналогию в ллойдовской форме френелевского опыта с зеркалами. В оптике и акустике указанные опыты являются аргументами в пользу волновой природы света и звука; совершенно так же и в описанных здесь явлениях мы должны усмотреть аргументы в пользу волнообразного распространения индукционного действия электрического колебания... Я описал опыты этой работы... не опираясь в существенных пунктах на какую-либо особую теорию... Однако ясно, что эти опыты представляют собою в такой же мере доводы в пользу теории электродинамических явлений, которая была впервые построена Максвеллом на основе воззрений Фарадея”.

¹ „Carl's Repertorium der Physik”, VIII, стр. 65, 1872.

² „Comptes rendus”, LXXIV, стр. 44, 1872. При сгибании медных проволок, у которых токи наиболее сильны, эти явления были замечены уже раньше Пельтье и де-ла-Ривом.

³ „Comptes rendus”, LXXVI, стр. 1299 и 1478, 1873. Д. М. Батчельдер наблюдал в 1847 г. („Silliman's Journ.”, III, стр. 250, 1847), что передаточный ремень длиной в 35 фут. и шириною в 9 дюйм., соединявший два деревянных барабана и пробегавший 1600 фут. в минуту, давал электрические искры на расстоянии в 1 фут 5 дюйм. Очень сильное образование электричества наблюдал также Гольмс на кожаных ремнях шерстяной фабрики в Глазго, где пришлось даже устроить особые приспособления для ограждения от него рабочих.

в 1859 г.¹ открыл, что *при протекании жидкостей через пористые стенки* возникают электрические токи в направлении течения жидкости. Целльнер в 1872 г.² показал, что не только протекание жидкостей по капиллярным трубкам, но и всякое вообще трение жидкостей о твердые тела всегда возбуждает электричество; на этом явлении, а также на допущении существования течений в жидком ядре земли, он основал теорию *земного магнетизма*. Эти явления, связанные с течением, неоднократно после этого подвергались сомнению³, но, в общем, они все-таки подтвердились⁴. После этого в 1876 г.⁵ Целльнер подвел итоги своим экспериментальным исследованиям, а вместе с тем и изложил объяснение этих явлений в следующих словах: «При скользящем трении двух тел на поверхности их соприкосновения возникают такого рода электродвижущие силы, что при благоприятных условиях они дают токи, которые стремятся сместить тела в направлении, противоположном их относительному движению»⁶. Этим были объяснены не только токи при прохождении жидкости *через диафрагмы*, но и, обратно, *увлечение электрическими токами материальных частиц* как прямо противоположное явление. Правда, Эдлунд⁷ более глубоко объяснил первое явление на основе своей теории, допустив, что текущие жидкости способны приводить непосредственно в движение электрическую жидкость и увлекать ее с собою; но Эльстер⁸ утверждал, что свободные струи жидкостей в воздухе не дают никакого электричества. Упомянутое выше захватывание материальных частиц текущим электричеством открыл уже в 1807 г. Рейсс⁹, заметивший, что жидкость, разделенная на две части пористой перегородкой, переносится током по направлению последнего. Подобные же опыты произвел Порретт¹⁰ в 1816 г. Прибор для более точного наблюдения этих явлений был впервые устроен Г. Видеманом в 1852 г.¹¹, и тогда этот процесс обратил на себя общее внимание физиков. Однако многие физики склонялись все-таки к мысли, что причиной переноса жидкости не является в данном случае электричество, и приписывали это явление диоомосу, видоизмененному под влиянием электричества, —

¹ „Pogg. Ann.“, CVII, стр. 1, 1859; CX, стр. 38, 1860.

² „Ber. d. K. Sachs. Ges. d. Wissensch.“, XXIV, стр. 317, 1872; „Pogg. Ann.“, CXLVIII, стр. 640, 1873.

³ Например, Беетц, „Pogg. Ann.“, CXLVIII, стр. 486, 1873.

⁴ Дорн, „Pogg. Ann.“, CLX, стр. 56; Г. Гага, „Wiedem. Ann.“, II, стр. 326; И. В. Кларк, там же, стр. 335.

⁵ „Pogg. Ann.“, CLVIII, стр. 497.

⁶ Там же, CLVIII, стр. 498.

⁷ „Wiedem. Ann.“, I, стр. 161.

⁸ Там же, VI, стр. 553.

⁹ „Mém. de la soc. imp. de nat. á Mosc.“, II, стр. 327, 1809; по Видеману, „Elektricität“, II, 166 и 181.— Ferd. Friedrich Reuss (1788—1852)— профессор в Москве.

¹⁰ „Gilbert's Ann.“, LXVI, стр. 272.

¹¹ „Pogg. Ann.“, LXXXVII, стр. 321, 1852; последующие многочисленные наблюдения — там же, XCIX, стр. 177, 1856. О находящемся, по-видимому, в известной связи с этими явлениями *странствовании ионов* была опубликована в том же 1856 г. довольно обстоятельная работа Гитторфа (там же, XCVIII, стр. 1).

408 УДЛИНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТОКА

так как тогда еще не удавалось воспроизвести переноса жидкости током при отсутствии диафрагмы. Последнее удалось осуществить лишь Квинке в 1861 г.¹. Для того чтобы сделать видимыми течения, вызванные в жидкости электричеством возле стенок твердых трубок, он применил мелкие крахмальные зерна; в результате своих опытов он дал удовлетворительное объяснение всех этих явлений. По его теории, жидкости, благодаря соприкосновению со стенками трубки, наэлектризовываются, и в зависимости от рода электричества они уносятся в направлении положительного или отрицательного тока; взвешенные в жидкости тельца в свою очередь наэлектризовываются жидкостью и вместе с нею уносятся электричеством. В конце своей работы Квинке говорит: «Нет ни единого факта, который противоречил бы объяснению переноса материальных частиц. Во всяком случае, из приведенных опытов следует, что движение материальных частиц под влиянием текущего электричества ни по своей величине, ни по своему направлению не зависит от агрегатного их состояния, а зависит от природы частиц и от природы тех веществ, с которыми они приходят в соприкосновение»². На тех же принципах Гельмгольц³ в 1879 г. построил математическую теорию этой *конвекции*. Но благодаря этому исследование непосредственного действия эфира на весомую материю здесь было снова удачно обойдено под тем предлогом, что в данном случае свободное электричество действует не на весомое вещество жидкости, а на заключающееся в нем и связанное с ним электричество. По мнению Эдлунда⁴, ему в 1866 г. удалось установить, что под влиянием тока *металлические проволоки удлиняются* независимо от вызываемого током нагревания, ибо, нагревая проволоку до одной и той же температуры один раз теплой водой, а другой — электрическим током, он нашел большее удлинение проволоки при нагревании током. Однако опыты других физиков указывают, что удлинения от тока могут быть приписаны все-таки косвенному действию теплоты и что неодинаковое действие тока и нагревающих жидкостей может быть объяснено неодинаковым внутренним распределением теплоты⁵. Все эти многообразные наблюдения связи между электрическими явлениями и молекулярными изменениями весомых тел позволяли думать, что всякое изменение в электрическом состоянии тел влечет за собою движение и перегруппировку их молекул и что, наоборот, все *изменения молекулярных движений вызывают и электрические действия*. Однако эти более общие представления о возбуждении электричества в свою очередь снова вызвали сомнение, является ли действительно *химическая теория* гальванического тока единственно возможной и нельзя ли источник электричества, возникающего при соприкосновении разнородных веществ, свести к другим причинам, и прежде

¹ „Pogg. Ann.", CXIII, стр. 513, 1861.

² „Pogg. Ann.", CXIII, стр. 598.

³ „Wiedem. Ann.", VII, стр. 351, 1879.

⁴ „Pogg. Ann.", CXXIX, стр. 15, 1866; CXXXI, стр. 337, 1867.

⁵ Например, Экснер („Pogg. Ann.", доп. том VII, стр. 431), Р. Blondlo („Comptes rendus", LXXXVII, стр. 206) и др. Однако Эдлунд в 1876 г. вновь выступил в защиту своего мнения против всех возражений („Pogg. Ann.", CLVIII, стр. 148).

всего к тепловым различиям между соприкасающимися веществами. Тогда выравнивание этих различий при соприкосновении различных веществ можно было бы рассматривать как причину молекулярных изменений, обуславливающих электрические явления; возбужденное же электричество вызывает химические изменения тел, которые при благоприятных условиях со своей стороны дают теплоту, необходимую для получения длительных электрических токов. И действительно, как раз такого рода теории электрического тока стали в это время отстаиваться с большой настойчивостью. Г. Гор¹ на основании многообразных опытов пришел к выводу, что возбуждение электричества при соприкосновении металлов с жидкостями происходит не столько вследствие химической, сколько в результате тепловой разности между ними. Бути², идя в том же направлении, показал, что две одинаковые металлические пластинки, погруженные в одну и ту же жидкость, части которой находятся при различных температурах, развивают электродвижущие силы. Наконец, Гоорвег³ в результате пространственных рассуждений пришел к следующим выводам: «Все гальванические токи являются термотокамаи; химическое действие в столбе и в аппаратах для разложения является следствием гальванического тока». Вслед за тем он пришел к такому общему заключению: «Электричество от трения и давления имеет то же самое термическое происхождение, что и гальванический столб, т. е. соседние молекулы двух разнородных тел своими тепловыми движениями действуют друг на друга тормозящим образом; при этом часть тепловой энергии исчезает и взамен ее появляется эквивалентное количество электрической энергии ...⁴. Этой причины в то же время достаточно для объяснения всех случаев возникновения электричества. Нет основания считать источниками электричества ни испарение, ни растворение или отвердевание, ни дробление или толчение, ни осмос или капиллярность, ни горение или какое-либо иное химическое действие⁵».

Перейдя в заключение к описанию развития электрической техники, мы остановимся на этом вопросе несколько подробнее, чем мы делали это прежде, когда касались технических отраслей знания, — с одной стороны, потому, что эта отрасль, начавшая отделяться от теории лишь в самое последнее время, в описываемый нами период находится еще в особенно тесной связи с теорией, — более тесной, чем в каком-либо другом отделе физики; с другой же стороны, — потому, что электротехника стремится занять совершенно особое положение, отличное от других отраслей техники.

Трудно установить, кто впервые применил слово «электротехника» и когда это случилось. Кармарш в своей «Истории технологии» 1872 г. еще не употребляет этого выражения, и его было бы бесполезно искать в лексиконах, появившихся в свет до 1880 г. Во всяком случае, восприимчивыми при установлении этого наименования были — Первая

¹ „Proc. of the Roy. Soc.“, XXVII, стр. 272, 1878; XXIX, стр. 472, 1879.

² „Comptes rendus“, LXXXIX, стр. 146, 1879; XC, стр. 917, 1880.

³ „Wiedem. Ann.“, IX, стр. 578, 1880. ⁴ Там же, XI, стр. 144.

⁵ Там же, XI, стр. 150.

410 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

электрическая выставка в Париже 1881 г. и Конгресс электриков. Это слово не поддается легко определению и не исчерпывает всего вкладываемого в него содержания; согласно внешнему своему выражению электротехника обозначает только особую отрасль техники; но, с другой стороны, в настоящее время она стремится охватить *всю технику*, по крайней мере, в той мере, в какой электричество, проводя и преобразуя, должно играть роль честного посредника в игре сил. Что оно способно на такую посредническую роль, что оно в состоянии превращать движение, работу и силы, этого отрицать не приходится. Электричество легче поддается непосредственному *превращению* в другие физические силы, чем его великая соперница — теплота, и, кроме того, его легко *передавать* по любым направлениям на любые расстояния. Однако существование электротехники в указанном выше общем смысле зависит не только от этих свойств электричества, но, пожалуй, еще в большей мере от того, можно ли самое электричество, эту предпосылку всякой электротехники, иметь *везде, в любое время достаточной силы* и, наконец, *по сходной цене*. Открытые раньше других источники электричества оказались с обеих этих точек зрения непригодными для разрешения общей проблемы передачи сил. Вольтов столб и все вообще гальванические батареи, будучи пущены в ход, тотчас же начинают настолько ослабевать, что даже применение их для научных целей сопряжено с неудобствами и трудностями. Так называемые *постоянные* элементы, которые стали изготовлять начиная с тридцатых годов, вопреки своему названию, оказались тоже, — по крайней мере, когда от них требовались сильные действия, — настолько непостоянными, что один новейший автор счел возможным начать предисловие к своему сочинению о гальванических батареях следующими словами ¹: «Гальванические батареи! На губах современного электротехника появляется легкая усмешка при упоминании об этих источниках тока; они кажутся ему давно преодоленными болезнями детского возраста прикладного электричества». Тем не менее, эти гальванические элементы оказываются достаточными по своим действиям в отдельных отраслях техники, где применяются лишь слабые токи или где передача силы представляет собою не средство для какой-либо цели, а самоцель. Для *электрической телеграфии*, для *электрической сигнализации*, для *электрических регистрационных аппаратов* широко распространенные элементы Майдингера, изобретенные в 1859 г. ², а также марганцевые элементы, устроенные Лекланше ³ в половине 60-х годов, дают в течение более года токи достаточной силы и постоянства по сходной цене. Поэтому указанные выше отрасли электротехники, к которым мы еще прибавили *гальванопластику*, развивались независимо от общей проблемы электротехники и даже достигли значительного совершенства раньше, чем эта проблема была сознательно поставлена. К этим более старым отраслям в описывае-

¹ „Hartleben's elektro-techn. Bibliothek", т. IV: „Die galvanischen Elemente", стр. VII.

² H. Meidinger, Eine völlig constante Batterie, „Pogg. Ann.", CVIII, стр. 602, 1859.

³ Georges Leclanché (1839—1882) — химик в Париже.

мый нами последний период физики присоединились еще некоторые новые, вызванные устройством *телефона*. Поскольку последние оставались в теснейшей связи с развитием теоретической науки, мы на них здесь вкратце остановимся.

Первая попытка превращения электричества в звуки была сделана Пэджем ¹ в 1837 г. Подвесив между коленами подковообразного магнита спираль из медной проволоки, он заставлял магнит звучать, замыкая или размыкая гальванический ток в спирали. В 1846 г. Вертгейм ² нашел, что этот тон соответствует продольным колебаниям магнита и что он вызывается удлинением и укорочением, происходящими вследствие намагничивания. Кроме тона продольных колебаний и обычно крайне слабого тона поперечных колебаний, часто сопутствующего первому, Вертгейм заметил еще «своеобразный звон, как будто распространяющийся вдоль по проволоке, а также другие виды трудно определенных шумов, причем последние особенно возникают в тех случаях, когда перерывы тока, а, следовательно, и толчки, следуют друг за другом более часто». В 1860 г. Ф. Рейс ³ воспользовался этим звоном для устройства своего телефона. Аппаратом, *воспринимающим звук*, у него служил просто железный прут (вязальная спица) со спиральной обмоткой для тока, установленный на резонирующей подставке.

Передаточный аппарат состоял из *натянутой перепонки*, которая воспринимала звуки и при звуковом своем колебании замыкала и размыкала ток, идущий в звучащий аппарат. Этот прибор был продемонстрирован в декабре 1861 г. в заседании Франкфуртского физического общества, и сам Рейс сообщает следующее о действии его в «Ежегодном вестнике» («Jahresbericht») этого общества: «Что же касается действия телефона, то следует отметить, что при его помощи я имел возможность воспроизвести перед членами многочисленного собрания (Физического общества во Франкфурте на Майне) мелодии, которые напевали не очень громко при закрытых дверях в аппарат, помещенный в другом доме (на расстоянии около 100 м). Другие опыты показали, что звучащая палочка способна воспроизводить полные трезвучия фортепиано, когда телефон стоит на крышке инструмента; и, наконец, что телефон в состоянии воспроизводить звуки других инструментов, а именно, гармоники, кларнета, рожка, органных труб и т. д., если только издаваемые ими тоны лежат в определенных пределах, приблизительно от F до F ... До сих пор еще не было возможности воспроизвести с достаточной отчетливостью человеческую речь. Согласные передавались большею частью довольно отчет-

¹ Charles Page [(1812—1868), — служащий Патентного бюро в Вашингтоне], „Pogg. Ann.“, XLIII, стр. 411, 1838.

² „Pogg. Ann.“, LXXVII, стр. 43, 1849. Вертгейм применил для своих опытов прут из мягкого железа, вокруг которого он пропускал ток по спиральной обмотке. Одновременно тем же вопросом занимались еще и многие другие физики, как Делезенн, Марриан, Битсон, Вартман, де-ла-Рив, которые в большинстве случаев пришли к тем же результатам, что и Вертгейм.

³ Ph. Reis (1834—1874) — преподаватель Института Гарнье в Фридрихсдорфе возле Гамбурга.

412 МИКРОФОН

ливо, гласные же в меньшей мере»¹. Причина этого несовершенства заключалась, конечно, в приемной части прибора, железная палочка которого не была в состоянии воспроизвести тонких видоизменений колебаний. Поэтому, как сообщил в 1863 г. секретарь телеграфии Легат², Рейс коренным образом переделал приемную часть своего телефона, устроив ее таким образом, что звуки воспроизводились при помощи ударов маятникообразного якоря, подвешенного перед электромагнитом. Д-р Мессель, бывший ученик Рейса, свидетельствует, что этот новый аппарат передавал и слова яснее прежнего, хотя все-таки не вполне отчетливо. — Зачастую утверждают, что после этого телефон был совершенно предан забвению; однако, строго говоря, это неверно; напротив, этот прибор постоянно упоминался во многих учебниках и на лекциях и приводился как интересный пример многообразия в передаче электричества; не была лишь признана практическая полезность телефона, но это было до известной степени извинительно при тогдашнем несовершенстве этого прибора.

О том, что физики не переставали интересоваться этим прибором, свидетельствуют, во всяком случае, повторные попытки его усовершенствования. В ноябре 1865 г. С. Ятс производил опыты перед Дублинским физическим обществом с аппаратом, похожим на последний телефон Рейса, причем этот аппарат воспроизводил слова несколько отчетливее рейсовского. В 1870 г. Кромвелль Варлей в Лондоне применил для передачи тонов вибрирующие металлические язычки; Поль Лакур в Копенгагене применил для этой цели камертоны. В 1874 г. Эляйша Грей устроил в Чикаго передаточный аппарат, в котором посредине мембраны, воспринимающей произносимые слова, был прикреплен металлический штифтик, а прямо против него в очень плохо проводящей жидкости был установлен другой металлический штифт. В качестве приемного аппарата служила пластинка, притягивавшаяся электромагнитом. Но в 1876 г., когда Грей стал хлопотать о получении патента, Грэхем Белл уже получил патент на свой телефон, состоявший из двух совершенно одинаковых аппаратов, которые по своей идее были схожи с приемным аппаратом Грея³.

Мы не можем здесь следить за дальнейшим развитием телефонии, которая в скором времени получила большое распространение, и обратимся к рассмотрению других аппаратов, развитие которых было связано с развитием телефона. После того как Эдисон уже сделал⁴ попытку приспособить телефон для передачи слабых звуков на большие расстояния при помощи гальванических батарей, Давид Юз⁵ из Луизвилля воспользовался в 1878 г. идеей Эдисона для устройства *микрофона*. Всякое колебание в силе электрического тока, вызываемое в каком-либо месте проводки путем увеличения ее сопротивления, передается по всей цепи самим током. Следовательно, если бы в каком-

¹ „Jahresber. d. phys. Vereins zu Frankfurt“, 1860—1861 гг. Статья Рейса озаглавлена: „Über Telephonie durch den galvanischen Strom“ (стр. 57).

² „Dingl. polit. Jonrnal“, CLXIX, стр. 23, 1863.

³ Graham Bell — в то время учитель школы глухонемых в Бостоне.

⁴ Thomas Alva Edison (1847—1931) — знаменитый изобретатель.

⁵ D. E. Hughes родился в 1831 г.) — изобретатель печатающего телеграф.

ЭДИСОН, ЮЗ И БЕЛЛ 413

нибудь месте цепи можно было вызвать колебания тока, соответствующие звуковым колебаниям, то сам ток передавал бы их телефону и они были бы там слышны с первоначальной силой. «Таким образом, — говорит Юз, — задача заключается в том, чтобы ввести в цепь электрического тока некоторое сопротивление, изменяющееся в точном соответствии со звуковыми колебаниями, так что по цепи пойдет волнообразный электрический ток, колебания которого по своей длине волны, высоте и форме явились бы точной копией звуковых колебаний». Эдисон был близок к разрешению этой проблемы, но и Юз, правда, лишь после ряда безуспешных попыток, нашел очень простое ее разрешение. Согласно сообщению Приса (в заседании Общества английских инженеров-телеграфистов 23 мая 1878 г.) Юз попытался достигнуть этой цели путем удлинения и укорочения самого провода, но безуспешно; однако, когда у него случайно оборвался провод и он слабо соединил концы его в месте разрыва, то заметил, что происходившие поблизости шумы стали передаваться в телефон. По-видимому, тогда он вспомнил о громких шумах, какими реагируют на звуки отдельные слабо укрепленные предметы, например оконные стекла, и это его навело на совершенно новую мысль усиливать предварительно с помощью резонанса передаваемые по телефону звуки. С этой целью он поместил на резонирующей подставке параллельно на расстоянии 1 мм друг от друга два проволоочных штифта, соединенных проводящей связью с гальванической батареей, и соединил их металлически, положив на них поперек свободно еще один такой же штифт. Еще лучшие результаты дало следующее устройство: установив на резонирующей подставке вертикальную стенку, он укрепил на ней две маленькие пластинки из графита, к которым были присоединены провода от батареи, и между этими пластинками установил палочку из того же графита, так что она находилась с ними в слабой связи. Это устройство, будучи присоединено к телефону Белла, дало возможность воспроизводить не только звуки и слова, произносимые перед резонансным ящиком, но даже передавать такие слабые шумы, какие получались при проведении по резонатору волосяной кисточкой или при ползании по нему мухи. Одновременно с Юзом и Роберт Людтге в Берлине придумал свою конструкцию микрофона и в январе 1878 г. взял на нее патент. В своем описании, сделанном им при исходатайствовании патента, он дал характеристику своего прибора, который по идее оказался вполне схожим с юзовским: «Если в цепи батареи сделать перерыв тока, например, просто перерезать проволоку, и затем свободно приложить друг к другу оба конца разрыва, то ток, разумеется, окажется вновь замкнутым, но тогда на месте разрыва возникнет сопротивление, тем большее, чем слабее прижаты друг к другу поверхности разрыва. Если же одну из поверхностей разрыва установить таким образом, чтобы она приходила в звуковые колебания от звуков речи или от шумов, то она будет с различной силой прижиматься к другой соприкасающейся с ней поверхности — в соответствии с интенсивностью и формой отдельных колебаний. Таким образом, сопротивление в месте разрыва будет точно определяться интенсивностью, формой и числом звуковых колебаний, а вместе с ним будет

414 МИКРОТАЗИМЕТР. ИНДУКЦИОННЫЕ ВЕСЫ

изменяться и сила электрического тока... тогда введенный в эту цепь телефон Белла будет передавать в звуковой форме всякое усиление тока, соответствующее увеличению амплитуды звуковых колебаний» и т. д.

Так как всякое *изменение сопротивления* в цепи вызывает колебания тока, а при помощи включенного в цепь телефона оно выявляется в форме звука, то телефон стали применять и для измерения, или, по крайней мере, для сравнения *сопротивлений* в проводниках; а так как сопротивление изменяется и под влиянием *давления*, приложенного к некоторой части цепи, то по колебаниям силы тока можно судить о колебаниях давления, приложенного к определенным чувствительным частям цепи. Эдисон устроил для этой цели *микротазиметр* (в котором, однако, вместо телефона он для определения силы тока воспользовался зеркальным гальванометром Томсона), при помощи которого, по его словам, ему удавалось определять колебания воздушного давления в $\frac{1}{1\ 000\ 000}$ англ. дюйма. Этот прибор может служить также в качестве *термометра*, так как и теплота, подобно давлению, изменяет сопротивление, а вместе с тем и силу тока. Эдисон считает его более чувствительным, чем термостолбик Меллони, и рекомендует его мореплавателям в качестве средства для распознавания приближения ледяных гор, раньше чем они станут видимы на глаз.

Представим себе далее два деревянных полых цилиндра с двумя индукционными катушками на каждом из них, верхней и нижней, причем эти катушки навиты таким образом, что все индуцирующие действия цепи тока, в которую включены верхние катушки, полностью уничтожаются в цепи тока, в которую включены нижние катушки. Представим себе еще, что в цепь тока верхних катушек включены микрофон и непрерывно тикающие часы, а в цепь тока нижних катушек включен телефон; тогда при указанных выше нормальных условиях телефон будет совершенно бездействовать. Но если нарушить условия этого равновесия в одном из деревянных цилиндров, например, приблизив к нему или опустив в него кусок металла, то в телефоне тотчас же появятся звуки. На подобные сочетания катушек, которые нормально друг друга уравнивают, но при всяком незначительном изменении индукционных сил в одной из катушек дают индукционные токи, указывали уже Баббадж и Джон Гершель; а позднее Довэ устроил подобный прибор под названием «*дифференциального индуктора*». Однако незначительная чувствительность тогдашних гальванометров помешала широкому применению этого прибора; теперь же Юз в телефоне нашел хорошее средство для выявления возникающих здесь индукционных токов. Устроенный им прибор, который он назвал индукционными весами¹, до такой степени чувствителен, что он уже начинает звучать, когда в цилиндры кладут по золотой монете не вполне равного веса. Этот прибор рекомендуют для открытия подземных рудных залежей, а также металлических масс на дне моря; с помощью подобного же прибора, говорят, была обнаружена пуля в теле раненого президента Гарфильда.

¹ „Nature", XIX, стр. 77, 1879: „An induction-currents balance".

Так как телефон выявляет малейшие колебания силы тока, а эти колебания могут быть вызваны *теплотой* и *светом*, то естественно было попытаться наладить телефонирование непосредственно с помощью световых и тепловых лучей, без всякой проводочной связи. Наиболее подходящей средой для превращения световых и тепловых лучей в колебания тока оказался *селен*. Этот открытый Берцелиусом в 1817 г. элемент считали непроводником электричества; но в 1837 г. Нокс установил, что селен становится проводником в то время, когда он плавится, а еще позднее, в 1851 г., Гитторф показал, что в одной из своих аллотропических модификаций, а именно — в кристаллическом виде, селен проводит электричество и при обыкновенной температуре¹. Расплавленный селен, будучи быстро охлажден, застывает в стекловидную массу, почти черную в отраженном свете и просвечивающую в тонких пластинках рубиновым цветом. При медленном же охлаждении он получает зернистое строение, имеет вид металла и совершенно непрозрачен для света, даже в тонких пластинках. В этом последнем виде он способен проводить электричество и при обычной температуре. Первое применение селена в электротехнике было сделано в 1873 г. электриком Уиллоуби Смитом в Лондоне; ввиду большого его сопротивления он применил его при испытании подводного кабеля. При этом помощник Смита Мей² открыл, что на свету сопротивление селена значительно меньше, чем в темноте, — при свете магниевой проволоки сопротивление селена уменьшалось вдвое. Это открытие было подтверждено многими физиками, как-то: Сэлом, Дрэпером, Адамсом, Сэбином, Вернером, Сименсом³ и др. Адамс⁴ нашел, что селен чувствителен даже к холодному свету луны. До этого времени опыты производились с помощью гальванометров. Но когда Белл попробовал определить изменения сопротивления с помощью телефона, ему пришла мысль, обратно, использовать это свойство селена для нужд телефонии. После многих тщетных попыток ему, при содействии его друга Семнера Тэнтера, сумевшего приготовить крайне чувствительные препараты селена, удалось, наконец, устроить фотофон, который он впервые описал 27 августа 1880 г. на заседании Американского общества распространения наук⁵. В наиболее удачной и простой форме передаточная часть этого аппарата состоит из плоского гибкого зеркала, например из посеребренной слюдяной пластинки, на заднюю поверхность которого падает звук человеческой

¹ „Pogg. Ann.", LXXXIV, стр. 219, 1851

² Там же, CL, стр. 333.

³ „Там же, CLIX, стр. 117.

⁴ Там же, стр. 622.

⁵ „Das Photophon", von A. G. Bell, немецкий перевод с английского, Leipzig 1880; „Jahrb. d. Erfind.", XVII, стр. 90, 1881. Штейнгейль уже в 1838 г. в докладе, сделанном им на заседании Баварской академии, сказал следующее: „Дальнейшую возможность передавать мгновенные движения на большие расстояния без соединительных проводов представляет лучистая теплота, которая, будучи направлена с помощью собирательных зеркал на термоэлементы, возбуждает токи, которые со своей стороны могут вызвать отклонение магнитов". („Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte", стр. 10, München 1838; по „Jahrb. d. Erfind.", XVII, стр. 136).

416 РАДИОФОНΙΑ

речи. Если на этом зеркале сконцентрировать при помощи чечевицы сильный пучок солнечных лучей, то, отражаясь от его поверхности, этот пучок воспроизводит все колебания пластинки. Пропущенный через другую чечевицу, он превращается в пучок параллельных лучей, которые улавливаются на отдаленной станции при помощи параболического рефлектора, в фокусе которого находится чувствительная селеновая пластинка, входящая в состав местной батареи с телефоном. Было произведено множество опытов с передаточными и приемными приборами, которые были удалены друг от друга настолько, что звуки не были слышны непосредственно через воздух, например, на расстояние 213 м. Подобными опытами было установлено, что для передачи раздельной речи достаточно друммондовского света и даже света керосиновой лампы. Для того чтобы определить природу лучей, действующих на селен, Белл поставил на пути прерывистого светового пучка различные поглощающие вещества. Раствор квасцов и сернистый углерод очень мало ослабили силу звука; раствор йода в сернистом углероде почти полностью уничтожил звук, во всяком случае, дал большее ослабление звука, чем совершенно непрозрачная на вид пластинка из гуттаперчи. «Хотя, таким образом, эти действия, — говорит Белл, — вызываются влиянием таких форм лучистой энергии, которые не воспринимаются нашим глазом, я, тем не менее, назвал прибор для приема и передачи звуков по этому методу «фотофоном», так как обычный луч света содержит в себе те лучи, которые в данном случае действуют. Кроме того, — говорит он далее, — мне пришла мысль, не может ли наше ухо услышать непосредственно, без помощи телефона, молекулярные колебания, вызываемые в кристаллическом селене действием прерывистого светового пучка. Было сделано много соответствующих опытов, но без решающего результата. Необычное действие гуттаперчевого экрана побудило нас испытать и его. Этот опыт привел к чрезвычайному результату. Я держал эту пластинку очень близко к уху, в то время как на ней при помощи чечевицы был сконцентрирован прерывистый пучок света, и я тотчас же ясно услышал музыкальную ноту. Это действие еще усилилось, когда мы установили каучуковую пластинку в виде диафрагмы и стали слушать ее с помощью слуховой трубки».

Последняя мысль дала толчок еще и к дальнейшим исследованиям. Белл и Тэнтер установили, что прерывистые лучи света, или — еще лучше — теплоты, заставляют звучать почти все твердые тела. Из жидкостей оказались способными звучать лишь очень немногие, а газы и пары (особенно нетеплопрозрачные), наоборот, очень легко начинают звучать под действием прерывистого света¹. Э. Меркадье предложил для такой передачи звуков название *термофония*, или еще общее *радиофония*. Белл, принявший это название, попытался, далее, показать применимость радиофонии к решению космических задач. Осенью 1880 г. он организовал в Медоне совместно с астрономом Янсенем опыты, имевшие своей целью выяснить, нельзя ли с помощью

¹ W. C. Röntgen, „Wiedem. Ann.“, XII, стр. 155, 1881; Tyndall, „Nature“, XXIII, стр. 374, 1880—1881 гг.

ПЕРЕДАЧА СИЛЫ 417

фотофона услышать могучие перевороты, происходящие в солнечной фотосфере, но пока безрезультатно. Еще меньше положительного можно, конечно, сообщить о предложенных проектах передачи при помощи токов и селеновых пластинок на любые расстояния световых изображений, получаемых с помощью волшебного фонаря.

После этих экскурсий вернемся к центральной проблеме электротехники — к проблеме общей *передачи и превращения силы*.

С исключением из проблемы передачи силы гальванических элементов было исключено и непосредственное использование химических сил для получения электричества. Таким образом, в настоящее время может идти речь только об использовании для этой цели *теплоты и механической силы*. Планов использования теплоты было не мало. Вплоть до новейшего времени было затрачено очень много усилий, чтобы устроить из различных металлов и металлических руд термоэлементы, которые давали бы постоянные и сильные токи. Маркус, Беккерель, Мюр и Кламон, Ноэ и другие достигли в этом отношении заслуживающих внимания результатов. Указывали также на то обстоятельство, что подобные батареи могут явиться давно уже искомыми двигателями для небольших производств; однако до сих пор эти термобатареи оказались все еще недостаточными для получения токов необходимой силы. Таким образом, для передачи силы остается только *получать электричество за счет механических сил*, или, что то же самое, добывать электричество при помощи *индукционных машин*. Однако наиболее сильные из этих машин — в том виде, как они до семидесятых годов применялись, главным образом, для электрического освещения, — неизменно обладают *двумя недостатками*, которые создают очень узкие пределы для их применения. С одной стороны, для увеличения набора магнитов, а, следовательно, для увеличения *силы* используемого магнетизма, существовал сравнительно узкий предел; с другой стороны, — электрические токи, даваемые этими машинами, по необходимости были лишены *равномерности*, так как эти токи слагались из индукционных толчков, которые с приближением полюсов электромагнитов к полюсам неподвижных магнитов нарастали до известного максимума, а затем снова гадали до известного минимума. *Первый* недостаток принципиально *более важен*, так как он основан на вторжении магнетизма в проблему электрической передачи силы; устранение его составляет бесспорную заслугу Вернера Сименса ¹. В апреле 1866 г. Уайльд в Манчестере устроил электрическую машину старого типа, но только неподвижные постоянные магниты он заменил гораздо сильнее действующим электромагнитом; последний получал магнетизм от второй меньшей магнитоэлектрической машины, для которой, естественно, были все-таки применены постоянные магниты. В том же 1866 г. Сименс на новой машине показал, что этот эффект может быть достигнут еще проще. Он совершенно удалил меньшую магнитоэлектрическую машину, которая должна была давать первое

¹ Ernst Werner Siemens (1816—1892), брат Вильгельма Сименса, с 1838 г. артиллерийский офицер; в 1850 г. он совместно с Гальске основал известную электротехническую фирму в Берлине.

418 ДИНАМОМАШИНА СИМЕНСА

возбуждение, соединил провода индуктора (так называется вращающийся электромагнит машины) с проводами неподвижного электромагнита и таким образом заставил ток, который мог возникнуть в индукторе, течь по обмоткам электромагнита, который тогда действительно становился магнитом. Сначала казалось необходимым перед применением этих машин пропускать через индуктор ток, взятый откуда-нибудь со стороны, но вскоре выяснилось, что в этом нет никакой надобности. Каждый сердечник из мягкого железа содержит в себе некоторый, хотя бы и слабый след магнетизма, который мог быть возбужден в нем каким-либо образом, земным ли магнетизмом, или же искусственно при помощи обтекавшего его тока. Этого следа магнетизма, однако, достаточно для того, чтобы при вращении индукторов вызывать в его проводах ток, хотя бы и слабый. При установке Сименса этот ток проходит и через обмотку неподвижного электромагнита, вследствие чего его магнитность несколько усиливается. Благодаря этому индукционные токи снова усиливаются и в свою очередь усиливают магнитность электромагнита; таким образом, происходит *теоретически неограниченное* взаимное усиление электромагнита и индукционных токов. Эту электромагнитную машину, из которой магнит был исключен, Сименс назвал динамоэлектрической машиной. Одновременно с Сименсом и, по-видимому, независимо от него к устройству подобных машин пришли Муррей, Варлей и Уитстон — явный признак того, что идея динамоэлектрического принципа не только уже носилась в воздухе, но и была уже оценена по достоинству. В пользу этого предположения говорит и тот факт, что уже в мае 1867 г. лондонский механик Лэдд экспонировал на Лондонской выставке машину, построенную по этому типу, но только снабженную двумя индукторами¹. Второй дефект динамоэлектрических машин — пульсирующий характер их тока, — Сименс тоже пытался устранить, а именно, еще

¹ Первые опыты со своей машиной „без постоянных стальных магнитов" В. Сименс произвел в присутствии нескольких ученых в декабре 1866 г.; в середине января 1867 г. он сделал сообщение о них в Берлинской академии наук. В начале февраля того же года брат его, Вильгельм, подал заявление в Королевское общество о предстоящем его сообщении на тему „О превращении механической силы в электричество без помощи постоянного магнита". После этого заявления, которое по правилам общества должно было быть подано за 14 дней до прочтения доклада, Уитстон тоже сделал заявку о своем докладе: „Об увеличении силы магнита путем вращения индуцируемых им самим токов" („Jahrb. d. Erfind.", IV, стр. 142, 1868). В сообщении Берлинской академии наук от 17 января 1867 г. („Monatsber. d. Berl. Akad.", стр. 55, 1867; „Pogg. Ann.", CXXX, стр. 332 и 517) Вернер Сименс говорит о своей машине: „В то время как действие магнитоэлектрических индукторов не возрастает пропорционально увеличению их размеров, в описанных мною машинах имеет место обратное отношение. Причина этого заключается в том, что сила стального магнита возрастает гораздо медленнее, чем масса примененной для его изготовления стали, и что сила большого количества малых магнитов не может быть сконцентрирована на маленькой площади без того, чтобы значительно ослабить их действие или даже в большой доле их размагнитить. Поэтому, когда требуется получение сильных постоянных токов, магнитные индукторы с стальными магнитами оказываются непригодными... Кроме того, стальные магниты быстро теряют большую часть своей магнитности и машины утрачивают свою первоначальную, силу" („Pogg. Ann.", CXXX, стр. 334).

в 1855 г., но тогда еще с незначительным успехом ¹. Лучше удалось это Пачинотти, который избрал для этого более простой путь ²; однако устроенная им в 1860 г. небольшая машина была так слаба, что по существу она скорее являлась моделью, почему почти и не обратила на себя внимания. Лишь после того как Грамм в 1868 г. связал свою конструкцию (которую он изобрел независимо от Пачинотти) с динамоэлектрическим принципом Сименса, она очень быстро получила признание и вошла во всеобщее употребление.

Принципиально новым у Пачинотти и Грамма ³ было то, что индуктор вместо подковообразной имел кольцеобразную форму, а полюсы постоянного магнита, или заменяющего его электромагнита, имели полукольцевую форму, причем они возможно тесно охватывали кольцевой индуктор. Несмотря на такую конструкцию, кольцо Пачинотти или Грамма действует совершенно так же, как подковообразный магнит. Пока какая-либо часть проволоочной катушки, намотанной на кольцо, перемещается в сфере действия одного из магнитных полюсов, по этой части катушки идет ток в некотором направлении; при переходе же ее в поле другого полюса ток меняет свое направление на противоположное. Поэтому в том месте, где магнитные поля обоих полюсов граничат друг с другом, ток с катушки отводится на ось кольца; служащую коллектором, откуда он переходит на неподвижный электромагнит и затем идет по внешней цепи. Проволоки, идущие от отдельных частей катушки кольца, кончаются на изолированных металлических накладках на его оси, и по ним же скользят в виде проволоочных щеток концы тока, так что, несмотря на вращение оси, ток постоянно остается замкнутым. Так как кольцо сплошь обвито катушкой, то, если отвлечься от очень малых расстояний между отдельными ее витками, через каждое данное место магнитного поля проходят одинаковые витки и, таким образом, скользящие по коллектору щетки снимают равномерные токи и последние почти непрерывно, т. е. без пауз, протекают по внешней цепи. Однако и это кольцо может быть улучшено. Индукционные токи становятся тем сильнее, чем ближе электромагнит и индуктор противостоят друг другу и чем больше их противостоящие поверхности. Поэтому будет лучше, если кольцу Пачинотти вместо круглого сечения сообщить четырехугольное, или, еще лучше, если это кольцо вытянуть по направлению его оси таким образом, чтобы оно из кольца превратилось в полый цилиндр или в барабан. Конечно, при этом и электромагнит должен быть сделан более широким,

¹ Сименс говорит об этой машине („Wiedem. Ann.", XIV, стр. 472): „Подобная машина для получения непрерывных токов высокого напряжения для телеграфных нужд была выставлена в 1855 г. Сименсом и Гальске на Лондонской промышленной выставке и теперь находится в здешнем (Берлинском) почтовом музее... Кольцо Пачинотти имеет перед ней преимущество большей простоты, а также и то преимущество, что постепенно происходящая смена полюсов в железе связана с образованием меньшего количества теплоты".

² „Nuovo Cimento", XIX, стр. 378, 1865; по Wiedemann, „Lehrb. d. Elektrizität", IV, стр. 372. — Antonio Pacinotti, жил во Флоренции.

³ „Comptes rendus", LXXIII, стр. 175, 1871; LXXV, стр. 1497, 1872. — Zénobe Théophile Gramme, сначала был модельщиком в обществе электрического освещения „Alliance".

420 ИНДУКТОР ГЕФНЕР-АЛЬТЕНЕКА

с тем, чтобы он своими полюсами возможно теснее охватил барабан. Подобный индуктор, в форме барабана, впервые в 1872 г. применил главный инженер завода Сименса Фр. ф. Гефнер-Альтенек¹.

Все новейшие машины, предназначенные для получения сильных электрических токов, сконструированы по этим двум типам машин — Грамма и Гефнер-Альтенека; все они построены по *принципу динамоэлектрических машин*; видоизменяются и совершенствуются лишь *формы их индукторов*².

Динамоэлектрические машины, подобно всем индукционным машинам, могут быть использованы двояко: либо для получения электрических токов при помощи механической работы, либо для получения механической работы при помощи электрических токов. Если привести

¹ По поводу этого усовершенствования Сименс говорит следующее („Wiedem. Ann.", XIV, стр. 473): „Электродинамической машине Грамма присущ еще тот недостаток, что в ней индуцирующему действию подвергаются лишь наружные части обмоток кольца, пробегающие в магнитном поле, тогда как внутренние половины остаются без действия и только бесполезно увеличивают сопротивление в цепи тока. Фон Гефнер-Альтенек в машине, названной его именем, в значительной мере устранил этот недостаток тем, что он расположил обмотку лишь на наружной стороне вращающегося кольца или массивного железного цилиндра, распределив ее, как и в машине Грамма, группами, сообщающимися с накладками и скользящими пружинами или щетками". Предвестником барабанного индуктора Альтенека был, вероятно, цилиндрический индуктор Сименса, описанный им еще в 1857 г. („Pogg. Ann.", CI, стр. 271).

² Раньше индукционных машин были усовершенствованы *электрофорные* машины. Вслед за изобретением электрофора Вольты Лихтенберг устроил двойной электрофор, состоявший из одного диска и двух смоляных кругов, из которых один заряжался от диска, наэлектризовав его другим кругом; подобный прибор применял и Бэннет в качестве „удвоителя электричества". Кавалло установил смоляные круги вертикально и не прикладывал диска прямо к кругам, а перемещал его очень близко возле них при помощи вращающегося рычага; свой прибор он назвал мультипликатором („Gilb. Ann.", IX, стр. 139). Беннет и Кавалло тоже заметили, что их приборы (подобно позднейшим электрофорным машинам) наэлектризовываются сами собою, без предварительного сообщения им зарядов. Никольсон устроил электрофорные пластины из стекла, обложив их частично серебром, а подвижную пластинку с рукояткой он присоединил к вращающейся оси („Gilb. Ann.", IX, стр. 145). Этот аппарат, названный им „Revolving doubler" (вращающийся удвоитель), действовал интенсивнее прежних и сначала возбудил большой интерес, однако в связи с поразительным в то время развитием гальванического электричества он скоро был предан забвению. Столь же мало обратил на себя внимания схожий с ним прибор Белли, который был им устроен в 1831 г. („Annali dl Scienze del reg. Lomb. Venet.", стр. 11, 1831; Albrecht, „Gesch. d. Elektr.", стр. 53). Лишь после того как Фарадей своей теорией статической индукции снова обратил внимание физиков на эту область, электрофорные машины стали очень быстро совершенствоваться. Первую из подобных машин описал Теплер (профессор в Дерпте, потом в Дрездене) в 1865 г. („Pogg. Ann.", CXXV, стр. 469; „Rigaer Zeitung", 7 янв. 1865). Независимо от него и почти одновременно с ним А. Гольц (родился в 1836 г., профессор в Грейфсвальде) устроил более простую по своей конструкции, но в то же время и более сильную машину („Pogg. Ann.", CXXVI, стр. 157). Теплер в 1867 г. заявил („Pogg. Ann.", CXXVII, стр. 178), что „электрофорная машина представляет собою, пожалуй, наиболее прямой путь для получения электрических действий за счет механической работы". В 1869 г. Поггендорф („Pogg. Ann.", CXXXIX, стр. 513) осуществил с помощью машин Гольца такие же передачи сил, какие теперь выполняются при посредстве соединенных динамо-машин.

ИНДУКЦИОННЫЕ МАШИНЫ 421

во вращение индуктор машины, то по проволочной цепи последней пойдет электрический ток; если же, наоборот, через проволочную сеть цепи машины пропустить электрический ток, то индуктор начнет вращаться, а с его оси движение может быть передано на любую рабочую машину.

Этим теоретически проблема *передачи силы* при посредстве электричества разрешается полностью. В самом деле, если в каком-либо месте имеется в нашем распоряжении механическая сила, которую требуется использовать для работы в другом месте, то стоит лишь установить в первом месте динамо-машину, дающую при посредстве механической силы электрический ток, и отвести последний во второе место, заставляя его там приводить в движение другую динамо-машину, аналогичную первой. Однако на практике возможность осуществления такой передачи целиком зависит от *потерь силы*, которые при этом неизбежны. По этому поводу Вернер Сименс в упомянутой выше статье говорит следующее¹: «Если две динамоэлектрические машины ввести в одну и ту же цепь и одну из машин вращать с постоянною скоростью, то другая, в качестве электромагнитной машины, должна вращаться в противоположном направлении; это следует уже из того соображения, что динамоэлектрическая машина представляет собою электромагнитную машину, вращаемую в противоположном направлении. Встречный ток, который дает эта машина, вращаемая током, ослабляет ток первичной динамо-машины и вместе с тем уменьшает работу, необходимую для ее вращения. Если бы вторичная машина не должна была выполнять ни внешней, ни внутренней работы, то скорость ее вращения дошла бы до того, что ее электродвижущая сила уравнилась бы электродвижущую силу первичной машины. Тогда в цепи не было бы никакого тока, но и никакой бы работы не затрачивалось и не производилось. Однако в полном объеме такое состояние равновесия никогда не может быть достигнуто, так как вторичной машине приходится преодолевать внутренние сопротивления, а первичной необходимо достичь известной скорости, зависящей от ее конструкции, прежде чем в ней начнется динамоэлектрический процесс усиления тока. Если же вторичная машина производит какую-либо работу, то скорость ее уменьшается; вместе с ней ослабевает и зависящий от скорости ее вращения встречный ток. В этом случае по цепи обеих машин протекает ток, соответствующий разности их электрических токов, для получения которого затрачивается известная сила и который со своей стороны выполняет работу, возложенную на вторичную машину. Я уже в других местах указал, что полученный при этой передаче силы полезный эффект не является постоянной величиной, а зависит от отношения скоростей обеих машин, и что он возрастает с увеличением скорости их вращения. Описанное ниже исследование в известных пределах подтвердило это заключение. На практике до сих пор достигнут полезный эффект до 60% затраченной работы, а наибольшие из находящихся ныне в эксплуатации машин, — построенных, правда, для нужд освещения, а не специально для передачи силы, —

¹ „Wiedem. Ann.", XIV, стр. 473—479, 1881.

422 ПОТЕРЯ СИЛ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ СИЛЫ

передают до 10 л. с. (измеренных нажимом Прони), со средним коэффициентом полезного действия в 50%. Следовательно, при электрической передаче силы полезная работа до сих пор составляет лишь половину затраченной работы, другая же половина идет на преодоление сопротивлений в машине и проводнике и превращается в теплоту. Размеры этих потерь, конечно, зависят от устройства машины. Если бы не было надежды существенно сократить эти потери путем улучшения конструкции машин, то применение электрической передачи оставалось бы до известной степени ограниченным. Поэтому очень важно определить причины этих потерь, зависящие от конструкции машин, и обсудить, нельзя ли, и какими именно путями, добиться полного или частичного устранения этих источников потерь. Чисто механические источники потерь, как трение, сопротивление воздуха, толчки и пр., можно при этом оставить без внимания, так как вызываемая ими часть потерь невелика и эти дефекты могут быть устранены известными конструктивными приемами. Важной физической причиной потерь, которая полностью никогда не может быть устранена, является нагревание проводов электрическим током... Этим же причинам следует приписать и то бросающееся в глаза обстоятельство, что после окончания процесса нарастания сила тока динамо-машины, замкнутой самое на себя, почти пропорциональна скорости вращения, тогда как согласно динамоэлектрическому принципу (т. е. если не принимать в расчет нагревания проводов, вторичного действия индукционных токов и пр.) она при любой скорости вращения должна была бы возрасти до одной и той же бесконечной величины, если магнетизм пропорционален силе тока. Можно ли и в какой мере добиться устранения указанных дефектов путем улучшения конструкции динамоэлектрических машин, теоретически решить невозможно».

Долгое время надежды возлагались на другой способ передачи силы, сводившийся, впрочем, больше к накоплению, или концентрированию ее, с последующим уже затем ее использованием. Если в стеклянный сосуд со слабым раствором серной кислоты погрузить две свинцовые пластины и присоединить их к полюсным проводам динамоэлектрической машины, то, как только машина начнет работать, свинцовые пластины начинают под влиянием химического действия тока изменяться. Пластина, в которую поступает положительный ток, постепенно покрывается бурым налетом, состоящим из порошкообразного соединения свинца, так называемой перекиси свинца, а поверхность другой приобретает серый, зернистый, чисто металлический вид. Разобзив пластины с машиной, их можно сохранить в течение долгого времени, причем их поверхности не изменяются. Но если в любое время их соединить проводом, подобно полюсам элемента, то химический налет на пластине начинает постепенно исчезать, пластины становятся снова одинаковыми, освобождающаяся при этом химическая сила снова превращается в электричество, из которого она произошла, и по проводу идет ток; последний, правда, длится более короткое время, чем первоначальный ток, с помощью которого была произведена зарядка, но зато он обладает большей электродвижущей силой. Ознакомление с такого рода действиями электричества началось с упо-

мянутого раньше Риттера, а именно с 1802 г., и с тех пор многократно конструировались так называемые вторичные элементы, теория которых, как сказано, была удовлетворительно разработана еще до Шенбейна. Мысль о сообщении пластинам целесообразной, т. е. спиралевидной, формы, с тем, чтобы в небольших сосудах помещались возможно большие поверхности, — принадлежит Планте¹ (1860 г.); но только после того как Камилл Фор² улучшил или только изменил эти вторичные элементы, или аккумуляторы, последние привлекли к себе соответствующее внимание. Однако вызванный ими энтузиазм и оптимистические ожидания, что при их помощи будет разрешена проблема дробления электричества на мелкие части и его транспортирования в любом направлении, надежды, что «электричество можно будет продавать в банках, подобно помаде» — ныне уже испарились. Конечно, теоретически, аккумуляторы обещают более общее решение вопроса о передаче силы, чем динамо-машины, так как они дают возможность перемещения не только в пространстве, но и во времени. Однако с точки зрения первой щели они, требуя для перемещения вследствие значительной своей тяжести опять-таки значительной затраты силы, определенно уступают динамо-машинам, не говоря уже о том, что и без того потери сил в аккумуляторах не меньше, чем в динамо-машинах. Что же касается переноса силы во время, то, хотя динамо-машина и не может конкурировать с ними в этом отношении, аккумуляторы все же обладают тем недостатком, что их действие очень непродолжительно и не превышает нескольких дней. Поэтому и для данной цели их можно применять лишь в тех случаях, когда имеют дело с непостоянно действующими силами, или с источниками сил, величина которых во время работы сильно изменяется. Если, таким образом, приходится признать, что проблема электрической передачи силы не только настоящим образом не разрешена, но находится еще лишь в начальной стадии своего разрешения, то естественно возникает вопрос: каким же образом электротехника уже теперь могла достичь столь быстрого развития и всеобщего признания, если достижение истинных ее целей еще так далеко. Причиной этого является один вид превращения сил, а именно, превращение электричества в свет, и этот вид превращения силы еще долго будет служить стимулом и практическим моментом в общей проблеме передачи силы. Но, с другой стороны, весь ход развития техники превращения электричества в свет, — с тех пор как узнали световую дугу Дэви и накаливание осветительных проволок, так далеко отошел от теории и до такой степени стал делом техники, что входить здесь в дальнейшее его описание нам не приходится. Остается еще упомянуть только об одной стороне данного вопроса. *Существенную особенность электричества составляет его неограниченность в пространстве, по крайней мере, в земном. При его посредстве человек непосредственно слышит, говорит и осязает на*

¹ Gaston Planté (1834—1889) — ученик А. Беккереля; „Comptes rendus“, стр. 640, 1860; „Pogg. Ann.“, CIX, стр. 655.

² „Comptes rendus“, XCII, стр. 951, 1882.

424 ЦЕЛИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

самых далеких расстояниях, он безошибочно развивает на любых расстояниях большие силы и производит тяжелые работы. Более того, если наше обоняние и вкус вызываются особыми движениями материи, воздействующей на наши органы чувств, то нет никаких непреодолимых препятствий к тому, чтобы и эти ощущения могли передаваться на расстояние при помощи электричества. Таким образом, электричество конкурирует со столь родственным ему светом и дает человеку основания надеяться, что, освобождаясь все больше и больше от пространственных границ, он, в конце концов, сможет приблизиться, по меньшей мере, к земному вездесущию. Но независимость от пространственных границ всегда в известном смысле обуславливает и независимость от течения времени; таким образом, непрерывный процесс техники, идущий параллельно развитию науки, приводит к безграничному росту господства человека над природой и всеми ее стихиями, а вместе с тем и гарантирует человеческому роду неизменное движение вперед на пути к все большему его совершенству.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 425

КО ВСЕМ ТРЕМ ЧАСТЯМ „Истории физики” Ф. РОЗЕНБЕРГЕРА

Римские цифры обозначают номера частей (III¹ — первый выпуск III части, III² — второй выпуск той же части). Знак * возле арабской цифры указывает на наличие на соответствующей странице биографических сведений. Кроме того, в самый указатель введены дополнительные биографические данные, имеющиеся в указателе к немецкому изданию настоящей работы Ф. Розенбергера. Для иностранных имен приведены оригинальные транскрипции.

- Аббади (d'Abbadie M.), III², 104
Аббе (Abbe E.), III², 350, 351*
Аббот Л. (Abbot L. H.), III², 280
Абриа (Abria), III², 397
Август (August E. T.), III¹, 224; III², 72
Августин (Augustinus), I, 74
Аверани (Averani G.), II, 243
Аверроэс (Averroes), I, 94*—95*, 108, 109
Авиценна (Avicenna), I, 87*—88, 91
Авогадро (Avogadro A.) (1776—1856, Турин), III², 207, 222
Агвилониус (Agvilonius Fr.), II, 89*
Адамс (Adams W. G.) III², 415
Аджунти (Aggiunti N.), II, 175*
Акин (Akin C. K.), III², 142
Аккерман (Ackermann J. F.), III¹, 93
д'Аламбер (D'Alembert), III¹, 97, 206, 243; III², 51, 59
Алексеев В. Ф., III², 271
д'Алибар (D'Alibard), II, 294
Альбаттани (Albategnius или Albattâni), I, 85*—86, 93
Альберт Великий (Albertus Magnus), I, 88, 99—102, 100*, 107
Альбируни (Albiruni), I, 91*, 93
Альбрехт (Albrecht), III¹, 196, 204, 283, 285
Альгазен (Alhazen), I, 88—90*, 94, 105—107; II, 72
Альгацини (Alkhazini), I, 90—94*
Альгевер (Algöwer), II, 210
Альдини (Aldini „G”; 1762—1834, проф. физики в Болонье), III¹, 92, 189
Аль-Мамун (Almamûn), I, 85*
Альтгауз (Althaus), III¹, 198
Альхайтам (Alhaitham), I, 90*, 92, 94
Амага (Amagat E. H.), III², 297
Амичи (Amici G. B.), III², 340*, 350
Амонтон (Amontons G.), II, 179, 247*—249, 325; III¹, 105
Ампер (Ampère A. M.), III¹, 24, 170, 180, 193*—200, 211, 220, 255, 256, 258, 261, 283, 284; III², 7, 161—167, 169, 171, 179, 181, 183, 195, 200
Анаксагор (Anaxagoras), I, 17, 21, 38*—41
Анаксимандр (Anaximander) I, 19, 35*
Ангстрем (Angström A. J.), III, 208; III², 147, 148, 305, 329*, 332, 334—336
Андерсон А. (Anderssohn A.), III², 233

426 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Андерсон (Anderson Robert), II, 280
 Андроник (Andronicus v. Rhodos), I, 44
 Ансельм Кентерберийский (Anselm v. Canterbury), I, 96
 Анстис (Anstice R.), III², 108
 Антемий (Anthemius), I, 76, 77*
 Антинори (Antinori V.), III¹, 201, 257; III², 107
 Араго (Arago D. F. J.), III¹, 147, 153*—156, 170, 175, 178—180, 182, 192—193, 199, 211, 233, 235, 254, 286, 291; III², 112, 126, 133—135
 Аристарх Самосский (Aristarch), I, 55*, 59, 62, 63, 73, 120
 Аристотель (Aristoteles), I, 17, 22, 23, 32, 34, 37, 38, 40, 42—52, 43*, 60, 64, 66, 68, 70, 71, 77, 79, 83, 94, 95, 97, 98, 107, 109, 113, 115, 121, 122, 125, 126, 141, 143; III¹, 21, 170, 240
 Аристофан (Aristophanes), I, 65
 Армстронг (Armstrong W. G.), III¹, 275
 Архимед (Archimedes), I, 18, 24, 25, 52, 56*—58, 60—62, 70, 71, 74—76, 91, 94, 130, 131
 Архит (Archytas), I, 18, 42*, 52
 Атвуд (Atwood G.), III¹, 102*
 Ауэрбах Ф. (Auerbach F.), III², 359* 368
 Ахард (Achard Fr. C.), III¹, 95, 115
 Ахария Баскар (Acharya Bhaskara), III², 123
 Аш Эд. (Ash E., врач в Лондоне, умер в 1829 г.), III¹, 93
 Баадер (Baader Jos., 1763—1835, Мюнхен), III¹, 239
 Баббадж (Babbage Ch., 1792—1871, математик в Лондоне), III¹, 199; III², 414
 Бабине Ж. (Babinet J.), III¹, 82, 187*, 193; III², 153
 Бабо (Babo V.), III², 282
 Баден-Поуэль, см. Поуэль-Баден Балдуин (Balduin Ch. Ad.), II, 139*
 Банкалари (Bancalari M. Al.), III¹, 278
 Банкс (Banks I.), III¹, 117, 118
 Баретт (Barett W. E.), III², 67, 370
 Баркер (Barker), II, 318
 Барлоу (Barlow W. H.), III², 181
 Барроу И. (Barrow I.), II, 133, 142, 192, 243
 Барсанти (Barsanti Eug., умер в 1864 г.), III², 97
 Бартолинус (Bartholinus E.), II, 155, 239, 240
 Батчельдер (Batchelder I. M.), III², 406
 Баумгартнер (Baumgartner A., 1793—1865, президент Венской акад.), III¹, 224; III², 59
 Баумгауер (Baumhauer H., 1821—1885, Голландия), III², 272
 Бауш (Bausch J. L.), II, 152
 Бевис (Bewis), II, 289
 Беер А. (Beer Aug.), III², 128, 130, 133*, 134
 Беетц В. (Beetz W.), III¹, 269; III², 156, 182, 183*, 306, 366
 Бейс-Баллот (Buys-Ballot Ch. H. D.), III¹, 115, 144, 191*, 199, 214
 Беккария (Beccarla G. B.), II, 284, 295*, 327; III¹, 94
 Беккерель Ан. (Becquerel Ant. C.), III¹, 262, 266*, 268, 277, 292; III², 177
 Беккерель Эдм. (Becquerel Al. Edm.), III¹, 201, 276; III², 136*—138, 140, 149, 180, 417
 Бели Ф. (Baily Fr., 1774—1844, биржевой маклер в Лондоне), III², 101
 Белл (Bell G.), III², 373, 412*, 413—416
 Беллани (Bellani A., 1776—1867), III¹, 238

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 427

- Беллармин (Bellarmin), II, 87, 110
Беллавитис (Bellavitis G., 1803—1880), III², 108
Беллати (Bellati), III², 306
Белли Д. (Belli G., 1791—1860, проф. физики в Павии), III², 191, 420
Бенедетти (Benedetti), I, 116, 132*—133; II, 49, 54, 59
Беннет (Bennet Abr., 1750—1799, английский пастор), II, 328; III², 420
Бенценберг (Benzenberg J. Fr.), III¹, 102*, 112, 134, 136; III², 101—103
Берар (Berard J. Et.), III¹, 212*—213, 221, 292; III², 19, 63, 79, 94
Бергер И. (Berger Jos.), III², 75*
Бергман (Bergmann O. T.), II, 305*, 306
Бергнер А. (Bergner A.), III², 316
Беренс (Behrens G. B., 1775—1813), III¹, 266
Беригард (Berigard Cl.), II, 110*
Бернар (Bernard F.), III², 369
Бернулли Даниил (Bernoulli Dan.), II, 258, 272*, 274, 276, 277, 279, 281—282, 316, 322, 323, 325, 326; III¹, 128—129, 133; III²—78, 285
Бернулли Иоганн (Bernoulli Johann), II, 41, 227, 237, 243, 244, 251—252, 260—264, 262*, 274, 276, 280
Бернулли Николай (Bernoulli Nicolaus), II, 263
Бернулли Яков (Bernoulli Jacob), II, 205, 227, 237, 243, 260*—262, 274
Бертело М. (Berthelot M. P. E.), III², 70*, 126
Бертолле (Bertollet Cl. L., 1748—1822, проф. химии в Париже), III¹, 70, 74, 100, 106, 112; III², 51
Бертольд (Berthold G.), III², 14, 316
Бертрам Г. (Bertram H.), III², 105
Бертран А. (Bertrand A.), III², 122
Бертран Ж. (Bertrand J.), III², 381
Бертус (Bertus K.), II, 161
Берцелиус (Berzelius J. J.), III¹, 26, 114, 123—124*, 169—170, 203, 210, 218, 223, 237—238, 259, 261, 265—267, 293; III², 11, 74, 121, 415
Бертье Ж. Э. (Bertier J. E., 1710—1783, духовное лицо во Франции), II, 296; III², 314
Бессель (Bessel Fr. W., 1784—1846), III¹, 100
Бетанкур (Betancourt Aug.), III¹, 108*
Беттгер Р. (Böttger, R.), III¹, 276*, 283; III², 183
Бетти (Betti), III², 395
Бецольд В. (Bezold W.), III², 279*
Бикер (Bicker L., 1731—1801, врач в Роттердаме), III¹, 109
Бина (Bina A.), II, 284
Био (Blot J. B.) III¹, 33, 65, 80, 104, 109—110, 112, 114, 116—118, 127, 135, 150, 153—156*, 173, 175—178, 181, 182, 185, 193, 194, 197, 198, 207, 213, 247, 287, 292; III², 68, 72, 133, 135
Битсон (Beatson), III², 411
Блондель (Blondel Fr.), II, 280
Блондло Р. (Blondlot R.), III², 408
Блэк (Black J.), II, 318*—319, 324, III¹, 83
Бодримон (Baudrimont Al. Ed., 1806—1880, проф. химии в Бордо), III², 74

428 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Бозе (Bose G. M.), II, 286*, 290
 Бойль Р. (Boyle Rob.), II, 45, 140, 150, 151, 165*—170, 176, 193, 194, 206, 208, 209, 210, 238; III¹, 32, 70; III², 138, 290
 Боккачио (Boccaccio) I, 109
 Больцано Б. (Bolzano B., 1781—1848), III², 144
 Больцман Л. (Boltzmann L.), II, 18; III², 87*, 88, 90, 212, 219, 260, 311
 Бон К. (Bohn C.), III², 142, 143
 Бонд (Bond), II, 301
 Боненбергер (Bohnenberger, J. G. Fr., 1765—1831, проф. математики и астрономии в Тюбингене), III¹, 224; III², 109
 Бонн (Bonne R., 1727—1795, проф. математики в Париже), III¹, 100, 105
 Борда (Borda J. Ch.), II, 281*—282; III¹, 100
 Борелли (Borelli G. A.), II, 21, 153, 171, 174*—176, 220
 Борель П. (Borel P.), II, 75, 243*
 Боскович (Boscovich R. J.), II, 31, 306—308, 307*; III¹, 34; III², 191, 199, 200
 Босша И. (Bosscha J.), III², 378
 Ботто (Botto G. D.), III¹, 259
 Боэций (Boëtius), I, 76*
 Бравэ (Bravais Aug., 1811—1863, проф. физики в Париже), III², 108
 Брайлей (Bradley J.), II, 212*, 265
 Брайт (Bright Ch.), III², 177
 Брайтон (Brighton H.), II, 256
 Брама (Brahma J.), III¹, 103
 Бранд (Brand), II, 139
 Брандес (Brandes H. W., 1777—1834, проф. физики в Лейпциге), III¹, 104, 174
 Брандт (Brandt S.), III², 354, 355
 Браун (Braun F.), III², 261*
 Брегэ (Breguet L. Fr.), III¹, 214; III², 134, 366*
 Брезина (Bresina), III², 371*
 Брио (Briot Al., 1817—1882, проф. математики и физики в Сорбонне), III¹, 286
 Бриссон (Brisson M. J., 1723—1806, проф. физики в Париже), III¹, 94, 100
 Броун Р. (Brown R., 1773—1858, хранитель Британского музея), III², 278
 Броункер (Brounker W.), II, 151
 Бругманс (Brugmans S. J., 1763—1819, проф. в Лейдене), III¹, 276, 277
 Брукгем (Brougham H.), III¹, 147*
 Бруннер (Brunner C. Em.), III¹, 224; III², 115*, 116
 Бруно Дж. (Bruno Giord.), I, 140*, 141
 Брюке Эр. В. (Brücke E. W.), III², 150—154, 152*, 276
 Брюстер Д. (Brewster D.), III¹, 148, 155*, 156, 181, 183, 259, 288—289, 291, 293; III², 129, 133, 139—141, 145, 146, 153
 Буажиро (Boisgiraut Thom.), III¹, 192
 Буа-Реймон П. дю (Bois-Reymond, Paul du), III², 123*, 124, 284
 Буа-Реймон Эм. дю (Bois-Reymond Emile H. du), III², 179*
 Буге (Bouguer P.), II, 275, 299*—300, 301, 302, 322; III², 314
 Бузольт (Busolt), III¹, 293
 Буллиальд (Bullialdus I.), II, 220

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 429

Бультон (Boulton), II, 325

Бунзен Р. (Bunsen R.), III¹, 238; III², 119, 122, 146, 149, 269*—271, 286, 322, 324—329

Бунт Т. (Bunt T. G.), III², 108

Буоно (Buono C.), II, 171*

Бургэ Ж. (Bourguet J.), III², 369

Бисинеск (Boussinesq) III¹, 287; III², 344

Буссе Ф. (Busse Fr. G., 1756—1835, проф. во Фрейберге), III¹, 139; III², 364

Бути (Bouty E.), III², 409

Бутиньи (Boutigny P. H.), III², 74*, 75

Буфф Г. (Buff H., 1805—1878, проф. физики в Гиссене), III², 67, 75, 177

Бушепорн Ф. (Boucheporn F. de), III², 226

Бьеркнес К. А. (Bjerknes C. A.), III², 404*—405

Бэкон Р. (Bacon Roger), I, 83, 102—107, 103*; II, 74, 214

Бэкон Фр. (Bacon Fr. of Verulam), I, 43, 104; II, 7, 8—9, 10, 19, 40, 45, 46, 95*—108, 116, 139, 148, 153, 194, 216, 229; III¹, 28

Бэли (Baily Fr., 1774—1844, биржевой маклер в Лондоне), III¹, 137; III², 101

Бюльфингер (Bülfinger G. B., 1693—1750, теолог в Тюбингене), III¹, 104

Бюрги (Bürgi J.), II, 183, 184—185*

Бюффон (Buffon G. L. L.), II, 277*—278, 294; III¹, 70, 115

Ваальс ван-дер (Waals J. D. van der), III², 221, 222, 291, 293

Вагнер (Wagner J. P.), III¹, 260*

Вайделе (Waidele Er.), III², 121, 276

Валли (Valli E.), III¹, 89, 92

Валлис (Wallis J.), II, 151, 180*—182, 220, 253, 259

Валль (Wall), II, 251

Вальтер (Walther B.), I, 112*—113

Ванд Т. (Wand Th.), III², 85

Вандермонд (Vandermonde, Ch. A., 1735—1796, Париж), III¹, 100, 106

Варбург (Warburg E.), III², 282—284*, 302, 310, 313, 373

Варен (Varin), II, 230

Вариньон (Varignon P.), II, 233*

Варлей (Varley Cr. Fl., 1828—1883, английский электрик), III², 177, 412, 418

Вартман (Wartmann E. F., 1817—1886, проф. физики в Женеве), III², 108, 155, 411

Вебер В. (Weber W.), III¹, 131, 171, 240*—249, 254, 262, 278, 284; III², 13, 43, 44, 155, 157, 159, 161—163, 166, 170—176, 183, 201, 248, 258, 259, 261, 275, 365, 374, 380—386, 390, 391, 394

Вебер Г. (Weber G., 1779—1839, юрист в Дармштадте), III¹, 247

Вебер Г. Фр. (Weber H. Fr.), III¹, 208; III², 268, 278, 305*, 307

Вебер Р. (Weber Rob.), III², 362

Вебер Э. (Weber E. Fr.), III¹, 240*

Вебер Э. Г. (Weber E. H.), III², 172, 240*—249, 279

Веджвуд (Wedgwood J.), II, 302*; III¹, 291

Вейгель (Weigel E.), II, 246

Вейраух (Weyrauch J. J.), III², 44*

Вейсбах (Weisbach J.), III², 280*, 281

Вейсс (Weiss E.), III², 370*

430 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Велькер Г. (Welcker H.), III², 151
Вельтер (Welter), III¹, 224
Вентан (Ventan), III¹, 138
Вентури (Venturi G. B., 1746—1822, Италия), III², 215, 285
Вердè (Verdet M. E., 1824—1866, проф. физики в Париже), III¹, 147, 179—181, 286; III², 52, 57
Вертгейм В. (Wertheim W.), III¹, 234; III², 127*, 128, 181, 182, 258, 273, 274, 365, 411
Вивиани (Viviani V.), II, 53, 112, 118, 171*, 174, 184; III², 107
Видеман Г. (Wiedemann G.), III², 188, 208, 209, 259, 263, 277; III², 182*, 183, 262, 398, 402, 405, 407
Видеман Э. (Wiedemann E.), I, 84, 89, 90, 94; III², 314*, 397, 402
Вик Г. (Wyk H.), I, 109
Виллари (Villari E.), III², 302
Виллемо (Villemot Ph.), II, 265
Виллиген ван-дер (Willigen V. S. M. van der), III³, 108
Виллис Р. (Willis R.), III², 357*
Вильгельми Л. (Wilhelmy L. F.), III¹, 210; III², 203*—205, 206, 273—275
Вильд Г. (Wild H.), III², 67, 346
Вильде (Wilde), I, 30
Вильке (Wilke J. C.), II, 302, 303*, 304—305, 306, 319, 320, 327; III¹, 94
Вилькиисон (Wilkinson), III¹, 126* Винер (Wiener L. Chr.), III², 278*, 279
Винкельман (Winkelmann A.), III², 305*, 307, 310, 312
Винклер (Winkler J. H.), II, 286*, 287, 291, 294
Виолль (Violle J.), III², 264
Вителло (Vitello) I, 107*
Витрувий (Vitruv), I, 53, 64, 65
Вокансон (Vaucanson J. de), II, 214*
Вокелен (Vauquelin L. N., 1763—1829, Париж), III¹, 122, 126
Волластон (Wollaston), II, 301
Вольпичелли (Volpicelli P.), III², 300*, 406
Вольты (Volta, A.), II, 327*, 328, 330; III¹, 89—93, 116—118, 121, 200, 265; III², 121, 180
Вольтер (Voltaire), II, 236, 244, 276
Вольф (Wolf R.), род. в 1816 г., астроном в Цюрихе), I, 30, III², 115, 181, 287
Вольф Хр. (Wolf Chr.), II, 215, 213, 219, 224, 251, 253, 266, 267, 268
Вольферс (Wolfers J.) II, 237
Вреде (Wrede F.), III¹, 239, 291
Врен (Wren Ch.), II, 151, 180*, 181, 182, 222, 237
Вроблевский С. (Wroblewsky S.), III², 291, 292*
Вудбург (Woodburg), III², 108
Вудворд (Woodward T.) II, 205
Вюльнер (Wüllner Ad.), III², 295, 331*—333, 336
Вюнш (Wünsch Chr. E.), III¹, 137*
Габбрайт (Gabbraith J. A.), III², 108
Гага Г. (Haga H.), III², 407
Гаген Г. (Hagen G.), III², 114*, 214, 215, 275, 280, 281
Гагенбах Э. (Hagenbach E.), III², 142*, 154, 177, 282, 406
Гадлей Джон (Hadley John.), II, 274*, 299

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 431

- Гадлей Джордж (Hadley George), II, 274*
- Гайдингер В. (Haidinger W.), III², 135*
- Гайкрафт (Haycraft), III¹, 212
- Галилей Винченцо (Galilei Vincenzo), II, 60*—61, 184
- Галилей Галилео (Galilei Galileo), I, 60, 115, 130, 139, 140, 144; II, 6—14, 20, 21, 26, 36—37, 40, 41, 45, 46, 47, 48*—67*, 74, 78, 84—89, 108—113, 116, 117, 118, 139, 147, 183, 184, 223, 245; III¹, 37, 39; III², 59, 61, 198, 236
- Галлей (Halley E.), II, 142, 205, 210, 211*, 222, 227, 237, 249—251, 253, 320, 322
- Галлер (Haller A.), II, 205*
- Гальвани (Galvani A.), III¹, 33, 84*—93, 116, 117
- Гальда де (Haldat Ch. N. Al. de, 1770—1852), III², 51, 155, 354
- Гальен (Galien Jos., 1699—1782, Авиньон), III¹, 82
- Гамбергер (Hamberger G. E.), II, 320
- Гамбургер (Hamburger M.), III², 262
- Гамель (Hamel, J.), III¹, 190, 191, 193, 285
- Гамильтон (Hamilton R.), III¹, 104, 171, 228*—230; III², 88, 89
- Ганземан (Hanzemann), III¹, 209
- Ганзен П. А. (Hanzen P. A.), III², 105, 109*
- Ганкель (Hankel W.), III², 177, 318, 392*
- Ганней (Hannay J. B.), III², 267, 292, 293
- Ганстен (Hansteen Ch.), III², 181*
- Гарвей (Harvey W.), II, 7, 44, 100*
- Гарисс С. (Harris W. S.), 1797—1867, Англия), III¹, 278; III², 159, 167, 177
- Гартинг (Harting P.), III², 350
- Гарриот (Harriot Th.), II, 72* 90
- Гаррисон (Harrison J.), II, 266*
- Гартнак (Hartnack), III², 350
- Гартсекер (Hartsoeker N.), I, 139; II, 243* 250, 252
- Гасконь (Gascoigne W.), II, 179*, 200
- Гассенди (Gassendi P.), II, 15, 45, 134*—138; III¹, 34
- Гассиот Д. П. (Gassiot J. P.), III², 178, 396, 397, 401
- Гаузен (Hausen Ch. A), II, 285*
- Гауксби (Hawksbee Fr.), II, 209, 251, 252, 281; III¹, 105; III², 285
- Гаусс (Gaus K. F.), III¹, 99, 102, 170, 171, 227*—228, 230, 235, 236, 278, 279, 284, 290; III², 46, 102—105, 159, 172, 175, 181, 385, 395
- Гаутон (Haughton S.), III², 101, 108
- Гвидуччи (Guiducci M), II, 88
- Гебер (Geber) I, 26, 83*, 84
- Гевель (Hevel J.) II, 152, 179, 183
- Геггинс (Huggins W.), III², 337, 340*, 341, 352
- Гегель (Hegel G. F. W.), I, 6; II, 31; III¹, 61, 158, 164*—165; III², 10
- Гезехус Н. А., III², 261, 262,
- Гейлинкс (Geulinx A.), II, 154*, 218
- Гейне (Heine), II, 215
- Гейсслер (Geissler H.), III², 178*

432 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Геккель (Häckel Er.), III², 232
 Гелер (Gehler), III¹, 218; III², 58, 69
 Геллибранд (Gellibrand H.), II, 114*
 Гельм Г. (Helm G.), III², 89*, 93, 234
 Гельмгольц (Helmholtz H. v.), III¹, 146, 161, 218, 229, 257, 268, 269; III², 13, 41*—45, 47—50, 54, 56, 57, 70, 88, 91, 93, 150—152, 157, 189, 201, 224, 255, 256, 283, 321, 323, 345, 346, 350—364, 367, 378, 380—382, 385, 405, 408
 Гельмонт (Helmont J. B.), II, 44
 Гемфрейс А. (Humphreys A. A.), III², 280
 Генглер Л. (Hengler L.), III², 249*
 Генли (Henly W.), II, 328; III¹, 95*
 Генри В. (Henry W., 1774—1836, хим. фабрикант в Англии), III¹, 74; III², 122
 Генри Д. (Henry Jos., 1797—1878, президент Американской академии), III¹, 259; III², 379
 Генри У. Ш. (Henry W. Ch.), III¹, 238
 Гераклид (Heraklid), I, 37
 Герапат Дж. (Herapath J.), III², 78, 226
 Гербарт (Herbart J. Fr.), III¹, 166*, 168, 169
 Герберт (Gerbert), I, 87*, 109
 Гери́ке (Guericke O.), II, 141, 155*—165, 167, 208
 Герман (Hermann J.), II, 244
 Гермбштедт (Hermbstädt, S. Fr.), III¹, 122*, 138
 Герон (Heron), I, 24, 25, 53, 61, 62*, 65
 Герстен (Gersten Chr. L., 1701—1762), III¹, 222
 Герстнер (Gerstner Fr. J., 1756—1832, проф. в Праге), III¹, 243
 Герц Г. (Herz H.), II, 18; III², 405*
 Герцен, II, 24, 31
 Гершель Дж. (Herschel J.), III¹, 155, 187, 199, 288*, 292; III², 27, 103, 117, 138—141, 152, 320, 346, 414
 Гершель Ф. (Herschel Fr. W.), III¹, 75—76*
 Гесс (Hess G. H., 1802—1850, Петербург), III², 45, 70
 Гете (Goethe W. v.), I, 111, 156—163; III², 138, 150, 152
 Гефнер-Альтенек (Hefner-Alteneck Fr.), III², 420
 Гиггинс Бр. (Higgins Br.), III¹, 138
 Гильберт (Gilbert L. W.), III¹, 103, 104, 134*, 193, 253
 Гильберт У. — см. Джильберт У.
 Гинтль В. (Gintl W.), III², 384*, 401
 Гиортер (Hyorter O. P.), II, 279
 Гипатия (Hypatia), I, 75*
 Гипп (Hipp), III², 366
 Гиппарх (Hipparch), I, 62*, 63, 69
 Гирн Г. (Hirn G. Ad.), III², 86*, 99, 210, 256, 257
 Гислинг (Giesling), II, 286
 Гитторф (Hittorf W.), III², 331*, 398, 407, 415
 Глан (Cilan P.), III², 349*
 Гленс (Glaens) III², 108
 Го (Hauy), III¹, 100
 Гоббс (Hobbes Th.), II, 132, 153*, 154, 178

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 433

- Говард (Howard L., 1772—1864, Лондон), III¹, 111
Гови (Govi) III², 302, 319
Гогарт (Hogart J.), III², 292
Гоген (Gauguin. J. M., 1810—1878, французский электрик), III², 177
Годфри (Godfrey Th.), II, 299
Головин, III¹, 131
Гольгер (Holger), III¹, 59
Гольдштейн (Goldstein E.), III², 397, 400
Гольмс (Holmes) III², 406
Гольс (Hulls J.), II, 256
Гольтцман (Holtzmann C. H.), III², 45, 50*, 72, 80, 91, 115
Гольц А. (Holtz A. W.), III², 420*
Гольцман (Holzmann, часовщик в Вене), III¹, 214
Гонт Р. (Hunt R., 1807—1887), III², 121, 181
Гoorвег (Hoorweg J. L.), III², 376, 409
Гопкинс (Hopkins), III¹, 249, 250
Гоппе Р. (Hoppe R.), III¹, 121, 192, 231, 257, 285
Гопфнер (Hopfner), I, 14
Гор Г. (Gore G.), III², 409
Гораций, I, 40
Горнер (Horner W. G.), III¹, 293
Горсфорд (Horsford), III², 177
Готро (Gautherot N.), III¹, 120
Готфейль (Hautfeuille), III², 293
Гофман (Hoffmann Fr.), II, 215
Гофф вант (Hoff van't), III², 196
с'Гравезанд (s'Gravesande), II, 215, 241, 244, 281*; III¹, 142, 243; III², 26
Грайлих (Grailich W. J.), III², 370*
Грالات (Gralaht D.), II, 288
Грамм (Gramme Th.), III², 419*—420
Грасси (Grassi O.), II, 88, 89, 110
Грассман Г. (Grassmann H. G.), III², 166*—168, 187, 359, 368
Грассман Р. (Grassmann R.), III², 187, 201*—203, 205
Грация (Grazia V.), II, 87
Греве (Graeve P.), III², 280
Грегори Д. (Gregory David), II, 237, 263, 298
Грегори Дж. (Gregory James), II, 180,
Грей (Gray St.), II, 264, 269*—270, 271, 272
Грей Эл. (Gray E.), III², 412
Грейнер (Greiner), III¹, 213
Грен (Gren Fr. A., 1760—1798, проф. в Галле), III¹, 93, 95
Гретц Л. (Grätz L.), III², 312*
Гримальди (Grimaldi Fr. M.), II, 46, 147*—149, 183, 198, 238; III, 102
Грин (Green G.), III¹, 171, 229*—230 Грове (Grove W. R.), III¹, 268, 269
Гротгусс (Grothuss Th.), III¹, 123*
Грэхем Дж. (Graham G.), II, 264*—266, 281, 289, 325
Грэхем Т. (Graham Th.), III¹, 237, 238, III², 9, 10, 117*—119, 122, 215, 217, 266, 267

434 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Губе (Hube J. M.), II, 284
 Губер (Huber Joh.), III¹, 166
 Гук Р. (Hooke R.), I, 139; II, 151, 153, 166, 176*—180, 187, 193, 198, 200, 201, 209, 220, 221—222, 238, 299; III², 126
 Гульд (Gould), III², 177
 Гульельмини (Guglielmini G. B., проф. математики в Болонье), III¹, 102; III², 102, 103
 Гумбольдт А. (Humboldt A.), 1769—1859), I, 80; III¹, 93, 106, 278
 Гунелль (Gounelle), III², 177
 Гунтер (Hunter J.), II, 330
 Гутенберг (Gutenberg), I, 111
 Гутри (Guthrie F.), III², 228, 304*
 Гэ-Люссак (Gay-Lussac L. J.), III¹, 31, 106*—111, 113, 147, 212, 214; III², 18, 53, 69, 89, 207, 213, 290, 298, 324
 Гэллстрем (Hällström G. G., 1775—1844, проф. физики в Гельсингфорсе), III¹, 254; III², 360
 Гюгон (Hugon), III², 97
 Гюйгенс Хр. (Huyghens Chr.), I, 140; II, 41, 94, 131, 152, 153, 155, 179, 180, 181—182*, 183—189, 201, 203, 207—208, 226, 237, 238—242, 243, 244, 316; III¹, 36, 146, 152, 172, 176, 181; III², 131, 251.
 Гюйо (Guyot J.), III², 228
 Гютон де-Морво (Guyton de Morveau), III¹, 70, 106, 224*
 Дави М. (Davy M.), III², 156
 Дагерр (Daguerre L. J. M., 1789—1851, художник в Париже), III¹, 292; III², 276
 Даламбер (D'Alembert Jean.), II, 245, 259, 273*—276, 298, 317
 Далансе (Dalencé), II, 209, 210, 250, III¹, 114
 Дальтон (Dalton J.), III¹, 31, 68, 106—110, 107*, 112—114, 116, 213; III², 69, 89, 122, 207, 290, 294
 Дамиан (Damianus), I, 70
 Даниэль (Daniell J. F.), III¹, 223*—224, 268—269, 283
 Дарвин (Darvin E.), III¹, 213*
 Дворак (Dvorak V.), III², 228, 374
 Деберейнер (Döbereiner J. W.), III¹, 103; III², 73*, 138
 Деген (Degen J., род. в 1756 г.), III¹, 81, 82
 Деген (Degen A. F.), III¹, 236*
 Дегофф (Desgoffe), III¹, 103
 Дезагюлье (Desaguliers J. Th.), II, 200, 215, 271*—272, 281, 325
 Дезе (Deshayes), II, 230
 Дезорм (Desormes Ch. B.), III¹, 214*; III², 90
 Дейман (Deimann R. J.), III¹, 94*
 Декарт (Descartes R.), I, 64, 115; II, 7, 9—10, 11, 15—18, 26—27, 29, 41, 45, 72, 116, 117, 120*—134, 145, 153, 154, 161, 179, 185—186, 190, 196, 216, 226, 244, 247, 251; III¹, 21, 24, 170, 172, 188; III², 14, 200, 255
 Делаамбр (Delambre J. B. J., 1749—1822, астроном в Париже), III¹, 100
 Деларош (Delaroche), III, 212, 213; III², 19, 79, 94
 Делезенн (Delezenne Ch., 1776—1866, член Парижской академии), III², 365, 411
 Деллингсгаузен Н. (Dellingshausen N.), III², 233*—238, 255
 Делор (Delor), II, 294
 Дельбар (Dellebarre L. Fr.), II, 299

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 435

Дельман (Dellmann F.), III², 160*, 179

Дельсо П. (Delsauls P.), III², 318

Делюк (Deluc J. A.), II, 214, 278, 284, 308, 318*—319, 321—323; III¹, 69, 79, 80, 95, 105, 113, 114, 116, 138

Демаре (Desmarest), III¹, 116

Демокрит, I, 18, 21, 22, 33, 40*, 41, 46, 51, 64

Депре (Despretz C. M.), III¹, 109; III², 25, 70*, 126, 147, 156, 304, 314, 315

Дергам (Derham W., 1657—1735, духовное лицо в Англии), III¹, 114; III², 187, 210, 253

Десен (Desains P. Q.), III¹, 210; III², 65*, 273

Дешаль (Deschales C. Fr. M.), II, 20, 133, 137, 190*—191

Джемс Г. (James H.), III², 285

Дженкин В. (Jenkin W.), III¹, 257

Дженкин Ф. (Jenkin Fl., 1833—1885, проф. в Эдинбурге), III², 176, 359

Джилльберт У. (Gilbert W.), I, 116; II, 67*—71, 100; III², 59

Джиоя (Gioja Fl.), I, 101

Джоуль Дж. Пр. (Joule J. Pr.), III¹, 218; III², 12, 13, 34—41*, 45, 49—57, 60, 61, 76—79, 91, 94, 181, 206, 210—212, 219, 302, 394

Джюрин — см. Жюрен Дивини (Divini E.), II, 242, 299

Дивиш (Diwisch P.), II, 295

Дидакус (Didacus a Stunica), II, 88

Дитрих (Dietrich J.), II, 279*

Довэ (Dove H. W.), III¹, 112, 257*, III², 151, 414

Доллонд (Dollond J.), II, 298*, 299

Доминис (Dominis M. An.), II, 89—90*

Дондерс (Donders F. C.), III², 358

Донни Ф. (Donny F.), III², 302

Допплер (Doppler Chr.), III², 8, 144*

Дорн Э. (Dorn E.), III², 221*, 407

Дреббель (Drebbel C), II, 51, 75

Дрион (Drion), III², 287

Дроз — отец и сын (Droz, P. J. и H. L. J.), II, 215

Дросбах М. (Drossbach M.), III², 201

Друммонд (Drummond Th., 1797—1843, инж.-офицер в английской армии), III¹, 290

Дрэпер В. (Draper J. W.), I, 30, 34; III², 116, 136*, 149

Дзви (Davy H.), II, 292; III¹, 23, 72*, 73, 76, 119—126, 202, 254, 291; III², 6, 53, 78, 125, 147, 423

Дзль (Dale) III², 342

Дэм (Dayme), III², 97

Дюан (Duane), III², 379

Дюар (Dewar J.), III², 316, 318, 338

Дюбуа Нансе (Dubuat Nancay), III², 215

Дювернуа (Duvernois), III¹, 106

Дюгамель (Duhamel J. M. C., 1797—1872, проф. математики в Париже), III², 68, 97, 98, 352, 365

Дюгем (Duhem P.), I, 5

436 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Дюлонг (Dulong P.L.), II, 264; III², 113, 209—212, 211*, 214, 215; III², 19, 22, 25, 37, 51, 69, 70, 126, 308, 309
 Дюма (Dumas), III², 69
 Дюпре (Dupré A.), III², 104*, 105
 Дюринг Е. (Duhring E. K.), I, 30; III¹; 99; III², 60, 61
 Дюталь (Dutal), II, 251
 Дютроше (Dutrochet R. J. H.), III¹, 237*; III², 116
 Дюфе (Dufav Ch. Fr.), II, 139, 270*—271; III¹, 222
 Дюфур В. (Dufour Wilh. H., 1787—1875, военный), III², 108, 109
 Дюфур Л. (Dufour L., род. в 1832 г.), III², 289, 299, 300
 Евдем (Eudemos), I, 51
 Евдокс (Eudox), I, 42*, 43, 59
 Евклид (Euklid), I, 24, 25, 54*, 60, 65, 70, 71
 Евсевий (Eusebios), I, 74*
 Жальябер (Jallabert L.), II, 290
 Жамар (Jamard), III¹, 139
 Жамен (Jamin J. C.), III², 7, 119, 122, 130*, 293, 294, 343
 Жаннета Э. (Jannetaz E.), III², 68
 Жермен (Germain Sophie, 1776—1831, Париж), III¹, 139
 Жерне (Gernez), III², 272
 Жилло, II, 9
 Жиффор (Gifford H., 1825—1882, инженер в Париже), III², 286
 Жолли (Jolly Ph.), III², 101, 102, 116*, 117
 Жулен Л. (Joulin L.), III², 406
 Жэке В. (Jacques W. W.), III², 379
 Жюрен (Jurin J., 1684—1850, врач в Лондоне), II, 277*; III¹, 104
 Зантедески (Zantedeschi Fr., 1797—1873, физик в Падуе), III¹, 190, 278, 292; III², 109, 399
 Замбони (Zamboni G.), III¹, 266*
 Зегнер (Segner J. A.), II, 317*—318
 Зеебек А. (Seebeck L. Fr. W. Aug.), III¹, 252*, 253, 291, 293; III², 129, 353, 354
 Зеебек Т. (Seebeck Th. Joh.), III¹, 155, 161, 199*—201, 219, 267, 277
 Зеебер (Seeber L. A., 1793—1855, проф. физики в Карлсруэ), III¹, 170
 Зеегер (Seeger C.), III², 230
 Зейдель (Seidel Ph. L.), III², 346*, 348
 Зелльмейер В. (Sellmeyer W.), III², 344,
 345 Земмеринг (Sommering S. Th., 1755—1830, член Мюнхенской академии), III¹, 193, 284
 Зильберман (Silbermann Th.), III², 69*, 268
 Зондгаус (Sondhauss K. Fr.), III², 371*
 Зонке (Sohnke L.), III², 340
 Зорге (Sorge A.), II, 260
 Зульцер (Sulzer J. G.), III¹, 90*, 139
 Зутер (Suter), I, 30
 Иберверг (Ueberweg), I, 30
 Иделер (Ideler), I, 32, 129
 Иелин (Yelin, 1771—1826, Мюнхен), III¹, 200
 Иергенсен (Jørgensen), III¹, 214

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 437

- Иероним Фракасторий (Hieronymus Fracastorius), I, 119*
- Изарн (Izarn J.), III¹, 190
- Изенкраге К. (Isenkrahe C.), III², 232, 239, 242*, 243, 245—247, 250—252
- Ингенгоус (Ingenhouss J.), II, 297*; III¹, 115
- Иоганнисьянц (Johannisjanz), III², 277
- Иохман (Jochmann Em., 1833—1871, препод. гимназии в Берлине), III², 210, 214, 307
- Ирншоу С. (Earnshaw. S.), III², 377
- Кабео (Cabeo N.), II, 24, 25, 114
- Кавалло Т. (Cavallo T., 1749—1809, Лондон), II, 328; III¹, 83, 93; III², 420
- Кавальери (Cavalieri B.), II, 21, 142*
- Каде (Cadet J. M.), III¹, 94
- Казреус (Casraus), II, 137
- Кайзер Г. (Kayser H.), III², 268*, 269, 271
- Калипп (Kalippos), I, 42, 43
- Калльетэ Л. (Cailetet L.), III², 265*, 266, 290, 291, 293, 294
- Кампани (Campani G.), II, 243
- Кант (Kant Imm.), II, 17, 31, 244—245, 283, 308, 333; III¹, 24, 26, 27, 30, 41*, 43—52, 54—58, 165—168, 169; III², 18, 30, 98, 184, 185, 198, 254, 277, 286
- Кантон (Canton J.), II, 295, 296*, 297, 302, 306
- Кантони (Cantoni G.), III², 297, 298
- Кантор (Cantor), I, 30, 36, 75, 83, 87, 90
- Каньяр Латур (Cagniard Latour Ch.), III¹, 234, 251*; III², 97, 287
- Капра (Capra B.), II, 51, 67
- Кардан (Cardanus), I, 101, 123—125, 124*, 138, 139
- Каркави (Carcavi P. de), II, 152
- Карлейль (Carlisle A.), III¹, 119*
- Кармарш (Karmarsch), III², 409
- Карминати (Carminati B., 1750—1830, проф. в Павии), III¹, 92
- Карно Ип. (Carnot Hup.), III¹, 218
- Карно Л. (Carnot Laz.), III¹, 231
- Карно Сади (Carnot S.), II, 20; III¹, 171, 215—218*; III², 12, 37, 45, 76, 77, 79—82, 84, 88, 90—92, 95—97, 224
- Карнелли Т. (Carnelly Th.), III², 295, 296
- Каррэ (Carré), III¹, 104*
- Карстен В. (Karsten W. J. G. 1732—1787, проф. в Галле), III¹, 95
- Карстен (Karsten Gust.), III², 121*, 152, 276
- Каскариоло (Cascariolo), II, 139, 251
- Кассини Д. (Cassini G. D.), II, 152, 171, 189, 212, 275*
- Кассини Ж.— младший (Cassini J.), II, 252, 275*
- Кассини де-Тюри (Cassini de Thury C Fr.), II, 277
- Кастелли (Castelli B.), II, 51, 67, 87, 88, 112, 117
- Кастель (Castel L. B.), II, 195
- Кастнер (Kastner K. W. G., 1783—1857, проф. в Эрлангене), III², 73
- Кателан (Catelan), II, 186
- Каули (Cawley), II, 255
- Каччини (Caccini), II, 87
- Квантен Э. ван (Quanten E. v.), III², 239

438 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Квинке (Quincke G.), III², 131, 221, 268, 275*, 276, 343, 408
 Квинтус Ицилий (Quintus Icilius G., 1824—1885, проф. в Ганновере), III¹, 201
 Ке (Quet J. A.), III, 110, 397*, 398
 Кейль (Keill J.), II, 237, 263*
 Келлер Ф. и Эм. (Keller F. und Em.), III², 228
 Кемпелен (Kempelen W.), II, 215*
 Кен (Kane R.), III¹, 250
 Кениг Р. (König R.), III², 357, 358*, 359, 362, 367, 368, 375—377, 379
 Кениг Ф. (König F.), III², 102
 Кеннингэм (Cunningham), II, 265
 Кеплер (Kepler Joh.), I, 115, 134, 135, 142*; II, 45—47, 67, 71—73, 85, 86, 90—92, 220; III¹, 228; III², 28, 104
 Керби (Kerby) III¹, 134
 Кеслер (Kesler Fr.), II, 142
 Кеттелер (Ketteler E.), III², 346*
 Киарамонти (Chiaramonti S.), II, 110*
 Киминелло (Chiminello, 1741—1815, астроном в Падуе), III¹, 80
 Киннерсли (Kinnersley E.), II, 293
 Кирхгоф Г. Р. (Kirchhoff G.), III¹, 133, 209, 229, 236, 288; III², 128, 148, 157*—160, 324—329, 333, 335, 378, 380, 395
 Кирхер (Kircher A.), II, 25, 113*—114, 138—141, 183, 220; III², 138
 Кислинг (Kiessling H.), III², 154*
 Клавиус (Clavius Ch.), II, 87
 Кламон (Clamond), III², 417
 Клапейрон (Clapeyron B. P. E.), III¹, 217*; III², 45, 77, 90, 91, 95
 Клапрот (Claproth M. H., 1743—1817, проф. химии в Берлине), III², 73
 Кларк И. (Clark J. W.), III², 407
 Кларк С. (Clark S.), II, 216, 236, 244; III¹, 261 .
 Клаузен (Clausen Th., 1801—1885, астроном в Дерпте), III², 108
 Клаузиус Р. (Clausius R. J. E.), III¹, 231; III², 12, 44, 50, 54, 56, 57, 79*, 80, 82—89, 92, 94—97, 153, 154, 159, 187, 206—214, 220, 224, 229, 258—260, 294, 307, 308, 310, 312—314, 376, 382—384
 Клеант (Kleanthes), I, 64*
 Клебш (Clebsch), III¹, 99; III², 128
 Клейст (Kleist E. G.), II, 286*
 Клеман (Clement), III¹, 214*. 239; III², 90
 Клемент (Clement), II, 185
 Клеомед (Kleomedes), I, 65*
 Клеро (Clairaut A. C.), II, 275*, 288; III¹, 104
 Клерселье (Clerselier C.), II, 132, 133
 Клингенштиерна (Klingenshjerna S.), II, 298*, 319
 Клинкерфюс (Klinkerfues E. Fr.), III², 339*, 340
 Клиффорд В. К. (Clifford W. K.), III², 224
 К. М. III¹, 284 Кноблаух (Knoblauch K. H.), III², 7, 62*—66, 68, 152
 Кнорр (Knorr E.), III², 121
 Кнохенгауэр (Knochenhauer K. W.), III², 46

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 439

Ко (Caus S.), II, 253*—254

Кобелль (Kobell Fr.), III¹, 283

Кокс (Cox), II, 243

Кокс Г. (Cox H.), III², 108

Колладон (Colladon J. D.), III¹, 239, 250*, 251

Коллинс (Collins), III¹, 173

Коломбе (Colombe L.), II, 67, 87

Колумб (Columbus), I, 113, 114

Кольдинг (Colding L. A.), III², 51*, 52, 57, 59

Кольрауш В. (Kohlrausch W.), III², 372

Кольрауш Р. (Kohlrausch R.), III¹, 262

Кольрауш Ф. (Kohlrausch Fr.), III², 259*—262

Кольсон (Colson A.), III², 264

Коммандино (Commandino), I, 118*

Кондамин (Condamine Ch. M.), II, 275*, 277

Кондорсе (Condorcet), III¹, 100

Константинов, III², 366

Конфилиачи (Configliacchi), III¹, 189

Коозен (Koozen J. H.), III², 128

Коперник Н. (Copernicus N.), I, 119*, 120—122, 135; II, 71, 82, 84, 87, 88, 111, 136, 137, 146

Копп (Корр. Н., род. в 1817 г., проф. химии в Гейдельберге), I, 30, 83; III¹, 113, 124, 211

Кордье (Cordier), III², 33

Корезио (Coresio), II, 87

Кориолис (Coriolis G. G.), III¹, 171, 232

Корню А. (Cornu A.), III², 134

Кортевер (Korteweg), III², 213

Котс (Cotes R.), II, 29, 30, 233*, 236, 237

Коши (Cuchy A. L.), III¹, 233*, 234, 286, 287; III², 7, 8, 127, 128, 130, 194, 200, 258, 343, 344

Крамер (Cramer G.), II, 263, 277*

Краузе (Krause), III², 254

Крауфорд (Crawford A.), II, 312, 320*; III¹, 69; III², 69, 89

Краценштейн (Kratzenstein Ch. G.), II, 290, 320*; III¹, 95

Кребс Г. (Krebs G.), III², 299*

Креве (Creve J. C. J. A., 1769—1853, врач), III¹, 93

Крелле (Crelle A. L., 1780—1855, инженер в Берлине), III², 99

Кремерс П. (Kremers P.), III², 227

Кремонино (Cremonino), II, 67

Крениг А. (Krönig A.), III², 166, 187, 206*—208, 375

Кри (Chree C.), III², 306

Крис (Kries Fr. Chr., 1768—1849, Гота), II, 309; III¹, 68

Крукс У. (Crookes W.), III², 314—318, 315*, 328, 350, 399, 400

Крэгей (Crahay), III², 108

Крюикшенк (Cruickshanks W., 1745—1800, врач и химик в Лондоне), III¹, 119, 122, 125*, 126

Крюкиус (Crucquius), III¹, 105

Крюсс Г. (Kruss G.), III², 341

440 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Ксенофан (Xenophanes) I, 38*
- Ктезибий (Ktesibios), I, 61*, 62
- Куафье (Coiffier), II, 294
- Кук (Cooke F. W., 1806—1879, Лондон), III², 177
- Кук Д. Б. (Cooke J. B.), III², 177
- Кулон (Coulomb Ch. A.), II, 284, 326, 328*—330; III¹, 100, 101; III², 128, 159, 161, 183, 214, 216, 387
- Кумб (Coombe J. A.), III², 108
- Кундт А. (Kundt A.), III², 283, 310, 313, 333, 338, 342*—344
- Кунеус (Cunäus), II, 287
- Купфер (Kupffer Ad. Th.), III¹, 173
- Курте (Curtet), III¹, 126
- Кавендиш Г. (Cavendish H.), II, 328; III¹, 82, 94, 101*; III², 101
- Кавендиш Ч. (Cavendish Ch.), II, 289, 305; III¹, 80
- Кэмминг (Cumming), III², 177
- Кэмпбелл (Campbell), III², 108
- Кэстнер (Kästner Abr. G., 1719—1800, проф. в Геттингене), I, 30, 110, 125; II, 276; III¹, 135
- Лаборд (Laborde), III², 367
- Лавуазье А. Л. (Lavoisier Ant. L., 1743—1794), II, 320; III¹, 31, 69, 114, 121, 207, 211; III², 69
- Лагерхельм (Lagerhjelm P.), III², 51, 127*
- Ла Гир Ф. (La Hire, Ph.), II, 205, 210, 215, 275, 325; III¹, 105, 114
- Лагранж (Lagrange Sos. L.), I, 58; II, 274, 317; III¹, 32, 33, 96*—100, 128, 133, 135, 170, 206, 224, 225, 228, 230, 247
- Ладенбург А. (Ladenburg A.), III², 10
- Лакайль (La Caille N. L.), II, 277, 300
- Лакур П. (Lacour P.), III², 412
- Лаланд (Lalande), III², 115
- Лаллеман А. (Lallemand Al., 1816—1886, физик в Пуатье), III², 154
- Ламарль (Lamarle A. H. E., 1806—1875), III², 110
- Ламберт (Lambert I. H.), II, 299, 300*—302, 323, 325—326; III¹, 105, 128, 133, 135; III², 73
- Ламе Г. (Lamé G.), III², 128, 227*, 369
- Ламонт (Lamont Joh.), III¹, 278; III², 181*
- Ламонтр (La Montre), II, 250
- Ланг Ф. (Lang V., род. в 1838, проф. в Вене), III², 68
- Ланге Ф. (Lange Fr.), I, 22, 30
- Ланген (Langen), III², 97
- Лангенбек Г. (Langenbeck H.), III², 201
- Лангенбек М. (Langenbeck M.), III², 151
- Ландольт (Landolt H.), III², 296*
- Ланжевен (Langevin) I, 6
- Ланис (Lanis Fr., Francesco de Lana), II, 215; III¹, 82
- Лаплас (Laplace P. S.), I, 69; II, 211, 320; III¹, 31—33, 62*, 101—102, 104—105, 114, 133, 135, 136, 152, 170, 182, 206, 207, 211, 214, 226, 228, 230, 232, 235, 251; III², 90, 101, 102, 115, 273, 321—375
- Лассвиц К. (Lasswitz K.), III¹, 40; III², 252*, 253
- Лебайи (Lebaillit), III², 315

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 441

Ле Белл (Le Bel), III², 196

Левенгук (Leuwenhock), I, 139

Леверье (Leverrier), III¹, 187

Легат (Legat), III², 412

Лежандр (Legendre), III¹, 206

Лежен Дирихле (Lejeune Dirichlet P. G., 1805—1859, проф. математики в Геттингене), III², 159

Лейбниц (Leibniz G. W.), II, 25, 32—34, 41, 212, 218, 219, 244—247, 245*, 249, 256—257, 261, 269, 306; III¹, 40, 170; III², 200, 201, 232

Лейденфрост (Leidenfrost), III², 73, 74

Лейкипп (Leukippos), I, 40

Лека (Le Cat Cl. N.), II, 323*

Лекланше Г. (Leclanché G., 1839—1882, химик в Париже), III², 410

Лекок де-Буабодран (Lecoq de Boisbaudran), III², 228, 336

Ле-Конт (Le Conte J.), III¹, 135, 136; III², 370

Леман (Lehmann O.), III², 278*, 279, 402

Лемери (Lemery L.), II, 305

Лемонье (Le Monnier L. G.), II, 289*, 294, 295, 296

Ленин В. И., I, 5; III¹, 56

Ленуар (Lenoir), III², 97

Ленц (Lenz H. Fr. E.), III¹, 201, 238, 257*—258; III², 47, 170, 177

Леонардо да-Винчи (Leonardo da Vinci), I, 116, 117*, 137; III¹, 291

Леопольд (Leopold I.), II, 209, 249, 256

Лермит (Lhermite), III², 117

Ле-Ру (Le Roux), III², 342, 377

Ле-Руа (Le Roy Ch., 1726—1779, врач в Париже), II, 321*, 325; III¹, 222, 223; III², 314

Лерэ (Leray), III², 229

Лесаж (Lesage G. L.), III¹, 30, 34*—41, 48, 56, 284; III², 188, 200, 229, 240—242, 252

Лесли (Leslie I.), II, 209; III¹, 76—79, 77*, 210, 290; III², 65, 285

Лессинг (Lessing), II, 245

Ле-Шателье (Le Chatelier H.), III², 272

Либен А. (Lieben A.), III², 271*

Либеркюн (Lieberkühn J. N.), II, 299

Либиг И. (Liebig J., 1803—1873), III², 59, 117

Либри (Libri Gug., 1803—1869, итальянский математик), I, 30, 136; III², 73

Ливерсайдж (Liversidge A.), III², 272

Ливинг (Liveing), III², 338

Линари (Linari), III¹, 201

Линк (Link H. Fr.), III¹, 236*

Линней (Linné C. V.), II, 305

Линус (Linus Fr.), II, 167*, 200

Липперсгей (Lippershey H.), II, 74, 75, 76*, 77

Лиссажу (Lissajous J. A.), III², 364*—365

Листинг (Listing J. B., 1808—1882, проф. физики в Геттингене), III², 152

Литцендорф (Litzendorf), II, 285

Лихтенберг (Lichtenberg G. Ch.), II, 327*; III¹, 95, 129, 273

442 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Ллойд (Lloyd H., 1800—1881, директор средней школы в Дублине), III¹, 188
Ловитц (Lowitz J. T., 1757—1804, аптекарь в Петербурге), III², 299
Локайер (Lockyer N.), III², 335*—338
Локк (Locke J.), II, 154*
Ломмель Е. (Lommel E.), III², 142*, 143
Лонгомонтан (Longomontanus Ch.), II, 137
Лопиталь (l'Hôpital de), II, 243, 261, 262
Лоран (Laurent), III², 66
Лорберг Г. (Lorberg H.), III², 383—385
Лоренц (Lorenz), III², 154
Лоренц Л. (Lorenz L.), III¹, 209; III², 131, 395
Лотце (Lotze В. Н., 1817—1881, проф. философии в Берлине), III², 201, 232
Лошмидт (Loschmidt J.), III², 220*, 221
Луйе Ф. (Louyet Ph. L. Ch.), III², 265
Лукас (Lucas), II, 200
Лукреций (Lucretius), I, 64*, 66
Лулл Раймонд (Raimundus Lullus), I, 106*
Лундквист (Lundquist), III², 130, 305
Льюис (Lewes), I, 30, 34, 35, 37, 44, 49, 82, 109
Льюис (Lewis), III², 97
Людвиг К. (Ludwig K.), III², 116, 302*
Людике (Lüdicke A. Fr., 1743—1882, проф. в Мейссене), III¹, 79; III², 413
Людольф (Ludolf Ch. Fr.), II, 286*
Людтге Р. (Ludtge R.), III², 124
Маас А. (Maas A. J.), III², 155
Мавролик (Maurolycus), I, 118, 126*, 127; II, 72
Магалотти (Magalotti L.), II, 171*
Магнус (Magnus Н. G.), III¹, 110, 237*;
III², 66, 67, 72, 106, 111, 122, 268,
285, 286, 308, 309
Мазеас (Mazéas G.), II, 278, 294
Мазон Ф. и Н. (Mazon F. и N.), III², 253
Майдингер (Meidinger Н., род. в 1831 г., проф. в Карлсруэ), III², 410
Майер А. М. (Mayer A. M.), III², 374*
Майер И. Т. (Mayer J. T.), II, 266, 275, 322; III¹, 74, 105, 115*, 135, 192, 210, 218
Майер Роберт (Mayer J. R.), II, 31; III², 12—20, 23, 24, 27, 29—34, 32*, 36, 39—41, 49,
52—57, 59—61, 76, 79, 320, 322, 323
Майкельсон А. (Michelson A.), III², 134
Майльс (Miles Н.), II, 286
Мак Грегор Дж. (M'Gregor Y.), III², 155
Маклорен (Maclaurin C), II, 273*, 274; III¹, 234
Максвелл Кл. (Maxwell J. Cl.), III¹, 197, 231, 279, 282, 283; III², 39, 81, 86, 159, 161, 187,
211*—216, 218, 219, 224, 298, 308, 310, 311, 314, 317, 341, 376, 380—382, 393—395, 400,
405
Мальбранш (Malebranche N.), II, 154*, 218
Малюс (Malus E. L.), III¹, 148*—151, 158, 247; III², 65, 129, 133, 347

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 443

- Маральди (Maraldi G.F.), II, 241*, 275, 277
Марангони (Marangoni C.), III², 124 Марат (Marat J. P.), III¹, 70*
Марианини (Marianini S. G., 1790—1867, проф. физики в Модене), III¹, 269
Мариньяк (Marignac C.), III², 108
Мариотт (Mariotte E.), II, 167, 179, 200, 204*—207, 210, 323; III², 72, 79, 126, 207, 208, 213, 221, 281, 288—290, 324
Мариус [Marius S. (Mayr)], II, 77, 86
Марк Грек (Marcus Graccus), I, 102
Маркс К., I, 6; II, 16—17, 35
Маркс (Marx C.), III², 108
Маркус (Markus), III², 417
Марриан (Marrian), III², 411
Марсден С. (Marsden S.), III², 264
Марсе (Marcet Fr., 1805—1883, проф. физики в Женеве), III¹, 212; III², 53, 298
Марум (Marum M.), III¹, 94*, 126, 188
Марци (Marci de Kronland J. M.), II, 142*—143
Маскелайн (Maskelyne N.), III¹, 101*, 171; III², 101
Массон А. (Masson A. Ph., 1806—1860, проф. в Париже), III¹, 137, 257; III², 178
Маттеуччи (Matteucci Car., 1811 — 1868, проф. физики в Италии), III¹, 293; III², 48, 64, 97
Матцка В. (Matzka W.), III², 100
Мах Э. (Mach E.), I, 5, 17; III², 339*, 364, 377
Маццони (Mazzoni J.), II, 8, 48
Мебиус (Möbius A. F.), III, 171, 227; III², 99*
Мей (May), III², 415
Мейер Г. (Meyer Herm., 1824—1856, математик в Лейпциге), III², 151
Мейер И. Ф. (Meyer J. F., 1705—1765, аптекарь в Оснабрюке), III¹, 95
Мейер Лот. (Meyer Loth.), III², 295*
Мейер О. Е. (Meyer O.E.), III², 212—222, 213*, 260, 268, 282, 283, 303, 308, 310, 312, 313, 345, 376
Мейкле (Meikle), III¹, 136
Мейстер (Meister), III², 120
Меллони (Melloni G. M.), III¹, 172, 219—222, 221*; III², 7, 62—66
Мельде (Melde Fr.), III¹, 129; III², 276, 364, 368*, 372, 373
Менделеев Дм. И. III², 287
Менелай, I, 91*
Менке (Mencke O.), II, 153
Менсбругге ван дер (Mensbrugghe G. van der), III², 124, 279
Меньян (Maignan), II, 133
Меран (Mairan J. J. d'Ortous de), II, 244, 252, 268*, 277, 279; III², 316
Меркадье (Mercadier E.), III², 416
Меркель (Merkel), III², 358
Меррик (Merrick), III¹, 134
Мерсенн (Mersenne M.), II, 15, 66, 111, 115—117, 152, 183, 185, 259
Мерц (Merz), III², 350
Мессель (Messel), III², 412
Метон (Meton), I, 41*
Мециус Адр. (Metius Adrian), II, 76*

444 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Мециус Яков (Metius J.), II, 74, 75, 76
Мешен (Mechain P. Fr., 1744—1804, астроном в Париже), III¹, 100
Миллер В. А. (Miller W. A.), III², 145*, 146, 325
Миллер (Miller W. H.), III¹, 288
Милли де (Milly de), III¹, 94
Миндинг (Minding Ferd.), III¹, 227
Мишель (Mitchel O. M.), III¹, 101; III², 177, 314
Митчерлих Э. (Mitscherlich E., 1794—1863, химик в Берлине), III², 268
Можон (Mojon G.), III¹, 189*
Мозер Дж. (Moser J.), III², 335—336*
Мозер Л. (Moser L. F.), III¹, 291—292; III², 9, 120*, 121, 149, 276
Молине (Moiyneux W.), II, 209*
Молле (Mollet Jos., 1758—1829), III¹, 213*
Монардес Н. (Monardes N.), III², 138
Монгольфье Ж. (Mongolfier Jos.), III¹, 83*, 103; III², 97
Монгольфье Э. (Mongolfier E.), III¹, 83*
Монж (Monge G., 1746 — 1818, математик в Париже), III¹, 100, 106, 231
Монконис (Monconys B.), II, 267*
Монро (Monro Al., 1733—1817, проф. в Эдинбурге), III¹, 93
Монсель Т. де (Moncel Gr. Th. du, 1821—1884), III², 179
Монтанари (Montanari), II, 171*, 176, 178
Монте дель — см. Убальди Монтюкла (Montucla), I, 30
Мопертюи (MauPERTUIS P. L. M. de), II, 237, 275*—276; III¹, 228, 229; III², 89
Мор (Mohr K. Fr.), III², 59, 60*
Морен (Morin), III², 366
Морен Ж. Б. (Morin J. B.), II, 137*
Морз (Morse S. F. B., 1791—1872, Нью-Йорк, по началу художник), III¹, 285
Морикини (Morichini D. P., 1773—1836, врач в Риме), III¹, 292
Морленд (Morlend S.), II, 140, 179
Морози (Morosi), III², 51
Моссоти (Mossoti O. F., 1791—1863, астроном в Пизе), III², 109
Муаньо (Moigno Fr. N. M., 1804—1884, математик в Париже), III², 156, 200
Мун (Moon), III², 136
Мунке (Muncke G. W.), III¹, 41, 57, 109, 112, 131, 134, 190, 192, 195, 196, 198*, 217, 224, 258; III², 58, 278, 318
Муррей (Murray) III², 418
Муррей (Murray J., умер в 1820 г., проф. химии в Эдинбурге), III¹, 112, 116
Мусин-Пушкин Ап. Ап. (умер в 1805 г.), III¹, 138
Муссон А. (Mousson A.), III², 275, 300*
Мутон (Mouton G.), II, 188
Мушенбрек (Musschenbroek P. van), II, 94, 278, 279*—280, 287, 302; III¹, 23, 104, 105, 114, 137, 222,
Мюллер (Müller G.), III², 341
Мюллер (Müller J. H.), I, 17; III¹, 259, 266, 269, 283, 285; III², 363*, 367
Мюллер (Müller Joh. Jac.), III², 134*
Мюр (Mure), III², 417
Навье (Navier), III¹, 227, 232

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 445

- Наккари (Naccari), III², 306
Наполеон I (Napoleon I), III¹, 30, 62, 125
Нарр (Narr F.), III², 309*
Наттерер (Natterer J. A.), III², 125*, 126
Неезен Ф. (Neesen F.), III², 260*, 261, 317, 318
Нейль (Neille), II, 243
Нейман К. (Neumann C.), III², 301*, 380—382, 386, 391, 392, 395
Нейман Фр. (Neumann Fr. E.), III¹ 211, 287*; III², 7, 48, 129, 159, 166, 168—171
Николай Кузанский (Nicolaus de Cusa или Cusanus), I, 110*, 111
Никольс (Nichols), III², 154
Никольсон (Nicholson W.), III¹, 116, 117, 119*, 126, 133; III², 420,
Ноберт Ф. (Nobert F. A., 1806—1881), III², 351
Нобили (Nobili L.), III¹, 195, 198, 218*, 221, 257
Нобль А. (Noble A.), III², 108
Нобль (Noble W.), II, 259
Нолле (Nollet J. A.), II, 208, 270, 278, 289*—291, 296, 306; III¹, 137, 237, 250; III², 314
Норвуд (Norwood R.), II, 147, 189
Норман (Norman), I, 128*; II, 68
Ноэ (Noë), III², 417
Ноэль (Noël Fr.), II, 265
Ньепс А. (Niepce Ab. de St. Vict, 1805—1870), III¹, 291, 292
Ньепс Ж. (Niepce Jos. Nicép., 1765—1833), III¹, 292; III², 97
Ньюкомен (Newcomen Th.), II, 255, 256
Ньютон (Newton I.), II, 17, 18, 28—30, 41, 130, 153, 168—169, 178, 180, 190, 191, 192*—
203, 212, 216, 220—238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 249, 251, 258, 262, 263, 275, 281, 297,
299; III¹, 21, 23, 24, 26, 30, 32—34, 39, 43, 45, 58, 96, 102, 134, 135, 143, 146, 157, 158, 160,
161, 170, 173, 174, 178, 183, 214, 240, 243, 247, 285; III², 9, 11, 13, 14, 20, 29, 59, 98, 131,
138, 161, 184, 198, 199, 205, 214, 215, 225, 226, 231, 233, 236, 248, 375
Нюге (Nuguet), III¹, 105
Обербек А. (Oberbeck A.) III², 374*
Обермайер (Obermayer V.), III², 218
д'Обюиссон (d'Aubuisson J. Fr.), III¹, 239*; III², 281
Озу (Auzout A.), II, 152, 179, 243*
Окатов М., III², 128
Оккам (Occam), I, 100*
Оливье (Ollivier), III¹, 103
Ольберс (Olbers H. W.), III¹, 103; III², 102*—105
Ольденбург (Oldenburg H.), II, 151, 193
Ольшевский К. (Olszewski K., проф. химии в Кракове), III², 291, 292
Ом (Ohm, G. S.), III¹ 171, 202*—205; III², 156, 157, 160, 175—177, 352, 353, 384, 398
Освальд (Oswald), III¹, 138
Оссиандер, II, 30
Отто (Otto), III², 97
Оффиреус (Offyreus), II, 215
Паальцов (Paalzow A.), III², 304*
Паж (Page C. E.), III², 105
Пальмерини (Palmerini), II, 87

446 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Памбур (Pambour), III², 96
Папен (Papin D.), II, 155, 183, 189, 207*—208, 215, 244, 255, 256—257
Папп (Pappus), I, 75*, 118, 128
Паран (Parent), II, 215, 249, 325
Парацельз (Paracelsus), I, 189*
Пардиз (Pardies I. G.), II, 201
Парис (Paris), III², 125
Парменид (Parmenides), I, 20, 21
Парро (Parrot G. F.), III¹, 125, 173*—174, 246—238, 265
Паскаль (Pascal B.), II, 15, 119, 144*—146
Пачинотти (Pacinotti A.), III², 419*
Пейрон (Peyron), III², 266
Пелле (Pellet), III², 373
Пельтье (Peltier J. Ch. A.), III¹, 201*, 267; III², 34, 47, 159, 160, 180, 388, 406
Пембертон (Pemberton H.), II, 237
Перкинс Дж. (Perkins J.), III², 73*
Перро (Perrot), III², 249
Перро Клод и Пьер (Perrault Claude et Pierre), II, 205
Персон Ш. К. (Person Ch. Cl.), III², 75, 110
Перье (Périer), II, 145
Петрарка (Petrarka), I, 109*
Петровский Г. (Pietrowski G.), III², 283
Пеурбах (Peurbach), I, 112*, 113, 119
Пешель (Peschel), I, 37, 61
Пивати (Pivati G. F.), II, 290, 291
Пигот (Pigot Th.), II, 259
Пикар (Picard J.), II, 152, 179, 189*, 210, 251; III¹, 114
Пикколомини (Piccolomini), I, 142*
Пиксий (Pixii), III¹, 260, 284
Пикте Р. (Pictet R.), III², 86, 290, 291*
Пикте (Pictet R. A.), III¹, 75*, 213
Писко (Pisko), III², 364, 367
Пифагор (Pythagoras), I, 20, 36*, 73, 74
Плана Дж. (Plana Giov. A. A., 1781 — 1864, астроном в Турине), III², 101
Планет (Planeth H.), III², 370
Планта (Planta M.), II, 297*
Планте (Plante G.), III², 423*
Плато (Plateau J. A. F.), III¹, 290, 293; III², 9, 111*—114, 124, 150, 151, 221
Платон (Platon), I, 20, 22, 23, 33, 34, 37, 38, 42*; III¹, 170
Плейфер (Playfair J., 1748—1819, физик в Эдинбурге), III¹, 77, 102
Плиний Мл. (Plinius Junior), I, 67
Плиний Ст. (Plinius Senior), I, 66*, 67, 73, 106
Плотин (Plotinus), I, 73*
Плутарх, I, 60, 61
Плюккер (Plücker J.), III, 279; III², 110, 111, 147*, 178, 331, 364, 391, 401

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 447

- Поггендорф (Poggendorff J. Ch.), I, 6, 30, 76; III¹, 78, 192—193*, 202, 204, 233, 267, 269; III², 54, 75, 107, 110, 157, 308, 366, 420
- Полени (Poleni G., 1683—1761, гидротехник в Венеции), III¹, 105
- Поль (Pohl G. F., 1788—1849, проф. физики в Бреславле), III¹, 199
- Понселе (Ponselet I. V.), III¹, 171, 231*—232; III², 109
- Понтекулан (Pontécoulant Graf. Ph. G. Doulcet de 1795—1874, французский математик), III¹, 234
- Порретт Р. (Porrett R.), III², 407
- Порта (Porta), I, 135—139, 136*; II, 74
- Посидоний, I, 63*
- Поттер (Potter H.), II, 255; III¹, 136
- Поуэль Баден (Powell Baden), III¹, 221, 287; III², 108, 111, 151*, 342
- Прайс (Price), II, 308
- Прево (Prevost P.), III¹, 34, 41, 75*
- Престон С. (Preston S. T.), III², 86, 238, 376
- Прехтль (Prechtel Joh. Jos.), III¹, 189*, 199
- Прис (Preece), III², 413
- Пристлей (Priestley J.), II, 506, 308, 315, 330*—331; III¹, 95, 106; III², 314
- Провостэ, де-ля (Provostaye H. de la), III¹, 210; III², 65* Прокл, I, 73, 76*
- Прони (Prony G. C F. M. Riche de, 1755—1839, директор строит. уч. зав.), III¹, 100, 109
- Проут (Prout), I, 19
- Пти (Petit A. Th.), II, 264; III¹, 113, 209—212, 211*
- Пти Ф. (Petit Fr.), III², 104*, 308, 309
- Птоломей (Ptolomäus Klaudius), I, 17, 52, 62, 63, 68*—72, 85, 89, 95, 105, 121, 122
- Пуазель (Poisseuille L.), III², 214, 215, 281—282*, 283
- Пуансине де-Сиври (Poinsinet de Sivry), III², 107
- Пуансо (Poinsot L.), III¹, 171, 225*—227; III², 101, 239
- Пуассон (Poisson S. D.), III¹, 131, 133, 136, 170, 175, 177, 182, 227, 228, 230, 233*—237, 245, 247, 286; III², 10, 97, 105, 110, 114, 115, 117, 127, 183, 194, 369
- Пулле (Pouillet Cl. S. M.), III¹, 204*, 205, 276; III², 27, 69, 157, 180, 262, 314, 315, 366
- Пулуй (Puluj J.), III², 218, 401
- Пушль (Puschl C), III², 228, 345
- Пфаундлер Л. (Pfaundler L.), III², 89, 296*, 298, 364
- Пфафф (Pfaff C. H.), III¹, 93, 95, 126, 259, 262, 265*, 267; III², 318
- Пьер В. (Pierre V., умер в 1886 г., физик в Вене), III², 75, 302
- Пэдж (Page Ch. G.), III¹, 285; III², 411*
- Пюиссан (Puissant L., 1769—1843, проф. геодезии в Париже), III¹, 100
- Раабе (Raabe J. L., 1801—1859, математик в Цюрихе), III², 100
- Радике (Radicke), III¹, 286
- Радо (Radau R.), III², 369
- Ральяр (Raillard), III², 153
- Рамо (Rameau J. Ph., 1683—1764, композитор в Париже), III¹, 139
- Рамсден (Ramsden J.), II, 297*
- Рамсей (Ramsay W.), III², 294*
- Рамус (Ramus), J, 125*
- Ранкин (Rankine W. J. M.), III², 12, 54, 77, 78, 81, 82*, 84, 85, 94, 95, 223, 224
- Реаль (Reaal L., 1737—1834), II, 183—184; III¹, 103

448 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Ребук (Roebuck J., 1718—1794, врач и фабрикант в Бирмингеме), III¹, 70
 Региомонтан (Regiomontanus), I, 86, 112*, 113; II, 214 Реди (Redi Fr.), II, 171* 330
 Редтенбахер Ф. (Redtenbacher F.), III², 205*
 Редфильд У. (Redfield W.), III², 104*
 Резаль Г. (Resal H.), III², 105
 Рейв (Reive), II, 243
 Рейль (Reil J. Chr., 1758—1813, проф. медицины в Берлине), III¹, 93
 Рейнгольд Э. (Reinhold Er.), I, 122*
 Рейнольдс О. (Reynolds O.), III², 279, 301, 319*, 379
 Рейс (Reis Ph.), III², 411*—412
 Рейсс Ф. (Reuss F. Fr.), III², 407*
 Рейта де (de Reitha A. M. S.), II, 137
 Рейх (Reich), III², 26
 Рейх Фр. (Reich Fr.), III², 101*, 102, 105, 180, 328
 Ремер О. (Römer Ol.), II, 152, 155, 183, 189, 211—212*; III², 250
 Рентген В. (Röntgen W. C.), III², 416
 Ренье (Regnier E.), II, 325*
 Реньо (Regnault V. H.), II, 264; III¹, 110, 137, 211, 213; III², 69, 71, 72, 94, 95, 126, 208, 314, 376, 378
 Ренальдини (Renaldini C.), II, 171*
 Реомюр (Reaumur R. A. F.), II, 278*, 330; III², 314
 Рессонс (Ressons), II, 280
 Рив А, де-ла (Rive Aug. A. de la, III¹, 212, 226, 227, 283; III², 53, 396, 398*, 406, 411
 Рив Ш. де-ла (Rive Ch. G. de la, 1770—1834, проф. в Женеве), III¹, 192
 Риггенбах А. (Riggenbach A.), III¹, 75, 115
 Рийке П. (Ryke P. L.), III², 371*
 Рикатти (Riccati G., 1709—1790, Тревизо), III¹, 128, 130
 Рике (Ricke), III², 381
 Риман (Riemann B.), III², 159, 384*, 395
 Рисс П. (Riess P. Th.), III¹, 273*, 292; III², 46, 136, 160, 180, 276, 395
 Риттер А. (Ritter A.), III², 323, 324
 Риттер (Ritter J. W.), III¹, 61, 76, 77, 119—121, 120*, 125, 126, 146, 189, 265, 269, 292; III², 423
 Ритчи (Ritchie W.), III¹, 78, 136, 257, 261, 290*
 Рихарц А. (Richarz A.), III², 102
 Рихман (Richmann G. W.), II, 296*; III¹, 115
 Рихтер (Richter), III², 328
 Рихтер (Richter G. Fr.), II, 200
 Рицетти (Rizetti G.), II, 200
 Риччи М. (Ricci M. A.), II, 171*
 Риччи О. (Ricci O.), II, 8, 13, 48
 Риччиоли Дж. (Riggioli G. B.), II, 137, 146*—147, 183, 189; III¹, 102
 Рише (Richer J.), II, 189*—190, 230; III¹, 114
 Ришелло (Richelot), III², 354 Робайсон (Robison J., 1739—1805, проф. физики в Эдинбурге), III¹,
 77, 142 Роберваль (Roberval G. P.), II, 152, 186*, 191, 220, 267

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 449

- Робинс (Robins B.), II, 281
Рого (Rohault J.), II, 130, 236
Роджет (Rojet), III², 37, 57
Родриг (Rodrigues), III¹, 227
Розенбергер (Rosenberger Ferd.), III¹, 22, 34, 56
Роити А. (Roiti A.), III², 391
Рома де (De Romas), II, 296
Романьози (Romagnosi G. D.), III¹, 189—191
Ромерсгаузен (Roraershausen E.), III², 160*
Роскоз (Roscoe), III³, 146, 149
Ротман (Rothmann), II, 73
Роулэнд Г. А. (Rowland H. A.), III², 382*
Румкорф (Ruhmkorff H. D., 1803—1877, конструктор физических приборов в Париже), III², 178, 179, 331
Румфорд [Rurmford (B. Thompson)], II, 302; III¹, 31, 70—74, 71*, 77—78, 114—116, 141, 218, 235, 289, 290;
III², 6, 36, 51, 53, 69, 73
Рундель В. В. (Rundel W. W.) III², 104
Рупп (Rouppé H. W.), III¹, 109
Рутерфорд (Rutherford D., 1749—1819, врач в Эдинбурге), III¹, 23, 81
Рюльман Р. (Ruhlmann R.), III¹, 74, 218; III², 85, 95, 398*, 402
Савар (Savart F.), III¹, 193, 194, 239, 243, 244, 247—252, 248*; III², 113, 369
Сван У. (Swan W.), III², 146
Сагредо (Sagredo), II, 50, 51, 53
Сакстон (Saxton), III¹, 261
Сальва (Salva), III¹, 284
Сальвиати (Salviati), II, 50, 53
Сальвино Армати (Salvino degli Armati), I, 107, 108*
Сан Мартино (San Martino G.), III¹, 80
Сеген (Seguin M.) III², 50*, 53, 200
Секки А. (Seechi A.), III², 108, 156, 238*, 239, 247, 255, 340
Секст Юлий Фронтин (Sextus Julius Frontinus), I, 68*
Сенармон А. де (Senarmont H. de), III², 67, 68*
Сен Вена (Saint Venant Ad., J. Cl. Barré de), III², 128*, 200
Сенгверд (Senguerd W.), II, 209*
Сенека (Seneca), I, 66*, 76
Сент Клер Девиль Э. Г. (Sainte Claire Deville), III², 265*, 322
Серр де (Serres M. de), III¹, 191
Сестини (Sestini), III², 145*
Сиго (Sigaud de la Fond), II, 297*
Сикс (Six J., умер в 1793 г. член корол. общества), III¹, 81
Сильвестр (Sylvester), III², 108
Сильвиус (Sylvius de la Boë), II, 44
Сименс В. (Siemens Werner), III², 176—178, 349, 366, 369, 384, 415, 417*—421
Сименс К. В. (Siemens K. Wilhelm), III², 321*, 322
Симмер (Symmer R.), II, 304*
Симон (Simon P. L., 1767—1815, инженер-строитель в Берлине), III¹, 126

450 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Сир (Sire), III², 110
Сиртурус (Sirturus H.), II, 78
Скиапарелли (Schiaparelli), I, 43
Скотт Э. (Scott E. L.), III², 365—367
Скотт Руссель (Scott Russel), III², 144
Слогетт (Slogett), III², 156
Смит (Smith), III², 156
Смит Р. (Smith R.), II, 277*, III¹, 142
Смит У. (Smith W.), III², 415
Смитон (Smeaton J., 1724—1792, гражданский инженер в Лондоне), III¹, 114
Снеллий (Snell W.), II, 94*, 95
Совер (Sauveur J.), II, 257*—258, 259—260; III², 365
Созиген (Sosigenes), I, 64*
Соке (Socquet J. M.), III¹, 116
Сократ (Sokrates), I, 37*, 43
Сомервилль (Somerwillle Mary, 1790—1872), III¹, 292
Сомерсет [(Уорчестер) (Somerset Ed., Marquis of Worchester)], II, 254, 255
Соре Ш. (Soret Ch.), III², 301*, 302
Сорель Э. (Sorel E.), III², 373
Соссюр Г. де (Saussure H. B. de), II, 284, 321; III¹, 78—80, 79*, 105, 111; III², 180
Соссюр Т. де (Saussure N. Th. de), III², 267
Спенсер (Spenser), III¹, 283
Спиноза (Spinoza B.), I, 246
Спринг В. (Spring W.), III², 263, 264
Станкари (Stancari V. Fr.), II, 257*, III¹, 251
Стевин (Stevin), I, 130*—132, 143; II, 60, 146
Стегелин (Stähelin), III¹, 278
Стеккли (Stuckely W.), II, 284
Стеноне (Stenone N.), II, 171
Стерджен (Sturgeon W.), III¹, 259*, 260
Стефан (Stefan J.), III², 305, 309*, 311, 375, 376
Стивенсон (Stevenson), III², 156
Стокс Г. Г. (Stokes G. G.), III¹, 136; III², 132, 140*—143, 215, 325, 329
Стругаль (Strouhal V.), III², 372, 373
Сэбин (Sabine E., 1788—1883, английский моряк и физик), III², 215, 415
Сэвери (Savery T.), II, 254, 255
Сэжэ Ж. Фр. (Saigey J. Fr.), III², 315
Сэл (Sale), III², 415
Стюарт (Stewart), III¹, 77
Стюарт Б. (Stewart Balfour), III², 39, 148*, 224, 303
Таккер (Thacker A.), III², 108
Талейран (Talleyrand), III¹, 100
Тален Р. (Thalén R.), III², 332, 334, 335, 337
Тальбот (Talbot W. H. F.), III¹, 288*, 292
Таннери (Tannery S. P.), I, 19, 26
Тарджиони (Targioni C. A.), II, 243
Тарджиони (Targioni G.), III², 107

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 451

- Тарталья (Tartaglia N.), I, 118, 123*, 124; II, 12, 13, 49
 Тартини (Tartani G.), II, 260
 Тевно (Thévenot M), II, 171*, 179
 Телезий (Telesius), I, 126*
 Тенар (Thénard L. J., 1777—1857, химик в Париже), III¹, 122, 126
 Тен Эйк (Ten Eyk), III¹, 259
 Теодорик (Theodorich), I, 108*
 Теофраст (Theophrastus), I, 51
 Теплер А. (Töpler Aug.), III², 420*
 Терквем А. (Terquem A., 1831—1887, Лиль), III², 371
 Террье (Terrier), III², 110
 Тессан (Tessan D., 1804—1879, французский метеоролог), III², 133, 179
 Тилорье (Thilorier), III², 125, 293
 Тиндаль Дж. (Tyndal J.), III¹, 28, 51, 253, 255, 257, 262, 275, 278, 282; III², 54—56, 55*, 61, 67, 75, 142, 286, 368, 370, 371, 379, 416
 Тиссеран (Tisserand), III², 230
 Тихо де-Браге (Tycho de Brahe), I, 115, 121, 122, 133*, 134*, 135; II, 47, 68, 71 — 73, 79—81, 183
 Томлинсон (Tomlinson Ch.), III², 272, 279
 Томлинсон (Н.), III², 306
 Томпион (Tompion), II, 164
 Томпсон Б. — см. Румфорд
 Томсен И. (Thomsen Jörg.), III², 70*
 Томсон Дж. (Thomson James.), III², 94*, 290
 Томсон (Thomson Thomas, 1773—1852, проф. химии в Эдинбурге), III¹, 112
 Томсон У. (Thomson Will.), III¹, 229, 282; III², 12, 39, 40, 54, 56, 80—82*, 84, 85, 90, 91, 94, 95, 159—161, 176, 187, 219, 221, 224, 229, 240, 255, 256, 290, 294, 320, 325, 384, 394
 Торичелли (Toricelli Ev.), II, 13, 21, 46, 112, 117*—119, 144
 Тоунлей (Townley R.), II, 167, 200
 Травельян (Trevelyan A.), III¹, 253, 255
 Тралесс (Tralles J. G., 1763—1822, проф. математики в Берлине), III¹, 112
 Треска Э. (Tresca H. E.), III², 263*, 264
 Тромсдорф (Trommsdorff J. B., 1770—1837, проф. химии в Эрфурте), III¹, 138
 Трост (Troost L.), III², 265*
 Труствик (Troostwijk A. P. van), III¹, 94*
 Тэйлор (Taylor Br.), II, 258*—259, 263
 Тэнтер С. (Tainter S.), III², 415, 416
 Тэт П. (Tait P. G.), III², 23, 39, 54, 56*—60, 86, 186, 229, 303, 316, 318, 325, 384, 385
 Уальд (Wild H.), III², 417
 Уайтгерст (Whitehurst J., 1713—1788, часовщик в Лондоне), III¹, 70
 Уард (Ward S.), II, 193
 Уатсон (Watson W.), II, 286, 289*, 291, 295, 305, 330*; III¹, 84
 Уатт Дж. (Watt James), II, 256, 285, 323*—325; III¹, 108
 Уатт М. (Watt M.), III², 318
 Убальди дель Монте (Ubaldi del Monte), I, 128*; II, 49, 50, 54, 87
 Уилер (Wheeler Gr.), II, 269, 271

452 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Уильсон (Wilson B.), II, 295*, 305, 306

Уистон (Whiston), II, 253

Уитстон (Wheatstone Ch.), III¹, 133, 205, 274*, 288, 291; III², 111, 147, 157, 177, 178, 357, 363, 364, 366, 367, 417, 418

Улива (Uliva Ant.), II, 171*

Унвин (Unwin W. C.), III², 284*

Уокер (Walker), III², 109

Уокер Дж. (Walker J.), III², 130

Уокер (Walker S. C., 1805—1853), III², 177

Уолластон (Wollaston W. H., 1766—1828, Лондон, врач), III¹, 77, 146, 147, 155, 183, 184, 265, 289, 292

Уотерстон (Waterston), III², 227, 320

Уре (Ure A., 1778—1857, химик в Лондоне), III¹, 109

Уэвелл (Whewell Will, 1794—1866, Кембридж), I, 30, 49; III¹, 180; III², 54

Уэллер (Waller A.), III², 121, 154

Уэльс (Wells W. Ch.), III¹, 93, 222*—223

Уэльш (Walsh J.), II, 330*

Фабброни (Fabbroni G. V. M.), III¹, 93*, 125, 265

Фабри (Fabri H.), II, 166, 171*, 175

Фабриций (Fabricius J.), II, 7, 86

Фавр (Favre P. A.), III², 69*, 268

Фай (Faye H. A. E. Al., род. в 1814 г., астроном в Париже), III², 133

Фалес (Thales), I, 19, 34*

Фарадей М. (Faraday M.), II, 308; III¹, 28, 197, 238, 253—283, 254*; III², 8, 37, 57, 77, 125, 126, 155, 156, 177, 221, 227, 287, 370, 371, 391, 393, 395, 399, 402, 405, 420

Фаренгейт (Tahrenheit G. D.), II, 266*, 267

Феддерсен (Feddersen B. W.), III², 300

Феон (Theon) I, 75

Фепплъ (Föppl A.), III², 397

Ферма (Fermat P.), II, 132*, 133, 220

Фернель (Fernel), I, 119*

Фессель (Fessel Fr.), III², 110, 111, 363, 364

Фехнер Г. Т. (Fechner, G. Th.), II, 308; III¹, 112, 183, 203, 258, 259, 267, 268, III², 150, 155, 162, 182, 187, 191, 193*—201, 203, 253, 374

Физо Ип. (Fizeau H. L.), III², 8, 64, 121, 132*—135, 149, 178, 339, 391, 394

Фик А. (Fick Ad.), III², 30, 116, 277*, 278

Филиппс Дж. (Philipps J.), III², 108

Филиппс Р. (Philipps R.), III², 154

Филолай (Philolaus), I, 37

Филон Византийский (Philon), I, 25, 63*

Финкенер Р. (Finkener R.), III², 318

Фирмиан Лактакций (Firmianus Lactantius), I, 74*

Фирмик Матерний (Firmicus Maternus), I, 74*

Фирордт К. (Vierordt K.), III², 348*, 349, 374

Фихте (Fichte J. H.), III², 201

Фицджеральд (Fitzgerald), II, 256

Фишер И. К. (Fischer J. K., 1760—1833, проф. физики), I, 30; III¹, 40, 58

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 453

- Фишер Н. В. (Fischer, N. W.), III¹, 116, 138, 237*; III², 74
Флейшер (Fleischer), I, 126*
Флудд (Fludd R.) II, 191*
Флэмстид (Flamstead J., 1646—1719, астроном в Гринвиче), III¹, 285
Фляйт (Flight), III², 322
Фогель Г. (Vogel H. C, проф. в Потсдаме), III², 349
Фогель Г. В. (Vogel H. W.), III², 338
Фожа де-Сен-фон (Faujas de St. Fond B.), III¹, 83*
Фолькман (Volkmann), III², 151
Фолькс (Folkes M.), II, 289
Фома Аквитанский (Thomas Aquitanus), I, 99
Фонвиелль де (Fonvielle de W.), III², 318
Фонтана (Fontana F.), II, 179
Фонтенель (Fontenelle B.), II, 237*
Фор (Faure J.), I, 14
Фор К. (Faure C.), III², 423
Форбс (Forbes G.), III², 134
Форбс (Forbes D. J.), III¹, 208*, 221, 253, 289; III², 63, 64
Фордайс (Fordyce G., 1726—1802, врач в Лондоне), III¹, 70
Форсельман-де-Геер (Vorsselmann de Heer P., 1809—1841), III², 46
Фоскарини (Foscarini), II, 88
Фосс [Voss Is. (Vossius)], II, 94, 131, 176*; III¹, 222
Фоулер (Fowler R.), III, 93, 117
Франкенгейм (Frankenheim M. L.), III¹, 201, 236*
Франклин Бен. (Franklin B.), II, 219, 291*—295, 305, 330; III¹, 115, 241, 250; III², 123, 156
Франц Р. (Franz R.), III¹, 208; III², 67
Фраунгофер (Fraunhofer Jos.), II, 204; III¹, 172, 183*—185, 187; III², 146, 326
Френель (Fresnel A. I.), III¹, 23, 24, 170, 173—187, 174*, 232, 240, 285—287; III², 7, 65, 128—131, 194, 314
Фриз (Fries J. F.), III¹, 58
Фритч Г. (Fritsch H.), III², 238
Фузиньери А. (Fusinieri Am., 1773—1853, врач в Винченце), III¹, 238; III², 123
Фуко (Foucault J. B. L.), III², 9, 64, 107—110, 108*, 134—135, 147, 149, 394
Фуркруа (Fourcroy A. Fr. de, 1755—1809, проф. химии в Париже), III¹, 70, 122, 126
Фурье (Fourier J. B. J.), III¹, 171, 179, 200, 205*—208, 216; III², 194, 277, 278, 353, 354
Фусс (Fuss), II, 299
Ханыков Н. В., I, 80, 82, 90, 92, 93
Хвольсон О. Д., I, 6
Хеттон (Hutton Ch.), III¹, 101*; III², 101
Хладни (Chladni E. Fl. Fr.), III¹, 32, 128*—131, 133—135, 137—140, 214, 241, 244, 245
Христиани А. (Christiani A., 1842—1887, физик в Берлине), III², 373
Христиансен (Christiansen C.), III², 342, 344
Цан (Zahn), III², 359*, 368
Цейнер (Zeuner G.), III², 84, 92*
Целльнер И. (Zöllner I. R. F.), II, 301; III², 230*—232, 249, 295, 317—319, 333, 340, 341, 346—348, 350, 381, 407
Цельсий (Celsius And.), II, 278, 279* 322

454 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Цех (Zech), III², 249
 Циамициан Ciamician G.), III², 336
 Циглер (Ziegler J. H.), III¹, 108*; III², 73
 Цицерон (Cicero), I, 31, 57, 60, 73
 Цох И. (Zoch J. B., директор средней школы в Сараево), III², 371
 Цукки Н. (Zucchi N.), II, 116*
 Чатмари А. (Szathmari A.), III², 379
 Челлис Дж. (Challis J.), III¹ 136, 286; III², 132*, 227, 228, 318
 Честер [Chester (Chestermorehall)], II, 299
 Чили К. (Szily K. v.), III², 88*
 Чильдрен (Children J. G.), III¹, 126*
 Чинтолези (Cintolesi F.), III², 297, 298
 Чирнгаузен (Tschirnhausen E. W.), II, 243*
 Шаар (Schaar M., 1817—1867, проф. в Женеве), III², 108
 Шаден (Schaden E.), III¹, 166 Шаль (Chasles M., 1793—1880, проф. математики в Париже), III¹, 227
 Шампион (Champion), III², 373
 Шарль (Charles J. A. C), III¹, 83*—84, 107, 291
 Шатле (Chatelet), II, 237, 244
 Шаффготш (Schaffgotsch), III², 369*
 Шварц (Schwarz), III¹, 252, 253
 Шварц Б. (Schwarz B.), I, 103
 Швейггер (Schweigger S. Chr.). I, 33; III². 189, 191—193, 192*; III², 159
 Шверд (Schwerd Fr. M.), III¹, 187*; III², 128
 Швильге (Schwilgué J. B.), III, 103
 Шевандье (Chevandier), III², 127
 Шеврель (Chevreul), III¹, 101
 Шееле (Scheele K. W.), II, 323
 Шейблер (Scheibler J. H., 1777—1838, фабрикант), III¹, 254; III², 365, 386
 Шейнер (Scheiner Chr.), I, 99; II, 26, 47, 74—75, 86, 92*—94, 110
 Шейхцер (Scheuchzer), II, 322*
 Шеллинг (Schelling Fr. W. J.), III¹, 59—62*, 158, 164, 189, 284
 Шельбах (Schellbach R. H.), III², 228*
 Шенбейн (Schönbein Chr. Fr.), III¹, 268*, 269, 423
 Шерер (Scherer Al. N. 1771—1824, член Петербургской академии), III¹, 138
 Шефлер (Schfeffler), III¹, 227
 Шиллер Н. Н., III², 382
 Шиллинг Пав. Льв. (1786—1857, русский дипломат), III¹, 284
 Шимпер (Schimper), III², 286
 Шлезингер И. (Schlesinger J., род. в 1831 г., проф. в Вене), III², 227
 Шлёмилх (Schlömilch O.), III², 100*
 Шмидт (Schmidt G. G. 1768—1837, математик в Гиссене), III¹, 106, 109, 113, 198
 Шмук (Schmuck E. J.), III¹, 93
 Шнебели Г. (Schnebelli H.), III², 262
 Шобер (Schober), II, 322
 Шотт (Schott K.), II, 47, 141*—142, 157, 159, 215
 Шпенгель (Spengel), III², 34

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 455

- Шпиллер Ф. (Spiller, Ph.), III², 232*, 233
Шпренгель (Sprengel H.), III², 286
Шпринг В. (Spring W.), III², 154, 263, 264
Шрамм Г. (Schramm H.), III², 240*—247, 252
Штампфер (Stampfer S., 1792—1864, проф. математики в Вене), III¹, 293
Штейнгель (Steinheil K. A. 1801—1870, физик в Мюнхене), III¹, 284; III², 346, 415
Штерер (Stöhrer E.), III¹, 261
Штирлинг (Stirling), III², 97
Штрекер (Strecker K.), III², 313
Штрельке (Strehlke), III², 72
Штремер (Strömer M.), II, 279
Штро А. (Stroh A.), III², 404
Штурм (Sturm Joh. Chr.), II, 209*, 215; III¹, 78
Штурм (Sturm J. R. Fr.), III¹, 239. 250*—251
Шубич (Subic S.), III², 206*
Шуленбург (Schulenburg), II, 178
Шумахер (Schumacher W.), III², 118
Шумейстер (Schumeister J.), III², 278
Шустер (Schuster A.), III², 402
Шюблер Г. (Schübler G.), III², 179
Эвинг (Ewing I. A.), III², 359
Эвктемон (Euktemon), I, 41*
Эдисон Т. (Edison Th.), III², 368, 412*, 413, 414
Эдлунд (Edlund E.), III², 386*—389, 391, 392, 396, 401, 407, 408
Эйзенлох В. (Eisenlohr W., 1799—1872, проф. физики в Карлсруэ), III², 143, 224
Эйзенлох Ф. (Eisenlohr F., род. в 1836 г., проф. математики в Гейдельберге), III², 130, 341
Эйлер (Euler L.), II, 240, 250, 258, 262, 266, 272*, 273, 275, 277, 279, 281, 285, 287, 297—298, 299, 306, 308—315, 316, 317; III¹, 53, 128, 129, 131, 133, 135, 139, 140, 172, 246
Эйтельвейи (Evtelwein), III², 365
Эйткен (Aitken J.), III¹, 223
Экснер (Exner Fr., род. в 1849 г., проф. физики в Вене), III², 279, 408
Экфант (Ekphantus), I, 37
Эли (Élie B.), III², 405
Эльзас А. (Elsas A., род. в 1855 г., доцент в Марбурге), III², 369
Эльстер (Elster), III², 407
Эмпедокл (Empedokles), I, 17, 20, 21, 39*, 40, 41
Энгельс Фр., I, 16, 17; II, 19—20, 31; III¹, 56
Эндрюс (Andrews Th.), III², 69*. 287—290, 292—295
Эмсманн А. Г. (Emsmann A. H., род. в 1810 г., проф. в Штеттине), III², 138, 141, 150
Энгельман (Engelmann R.), III², 348
Эпикур, I, 18, 22, 51; III¹, 35, 36
Эпинус (Aepinus Fr. U. Th.), II, 302, 303*—304, 305—306
Эратосфен (Eratosthenes), I, 61*, 85
Эрдман (Erdmann J. Fr., 1778—1846, проф. в Дерпте), III¹, 122

456 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Эри (Airy G. B., род. в 1801 г., директор Гринвичской обсерв.), III², 101, 108, 129
Эрикссон В. (Ericson W.), II, 321*
Эрикссон (Ericsson J.), III², 97*
Эрксleben (Erxleben J. Chr. P., 1744—1777, проф. физики в Геттингене), III¹, 139
Эрман (Erman P., 1764—1851, проф. физики в Берлине), III¹, 111, 237; III², 395
Эрстед (Oersted H. Ch.), III¹, 171, 189—194, 191*. 197, 200, 235, 267; III², 51, 103, 104, 160
Эттингсгаузен А. фон (Ettingshausen An. v., 1796—1878, проф. в Вене), III², 99, 100
Эшвейлер (Eschweiler), III², 108
Юз (Hughes D. E.), III², 412*, 413
Юм Д. (Hume D.), II, 217
Юнг Д. (Young J.), III², 134
Юнг Д. Р. (Young J. R.), III², 108
Юнг М. (Young M.), III¹, 139*
Юнг Т. (Young Th.), III¹, 23, 32, 73, 140*, 142—147, 152, 154, 172—176, 178—180, 186, 187, 231, 249; III², 6, 126, 129, 131, 222, 273, 364, 366, 405
Якоби К. Г. Я. (Jacobi K. G. I.), III¹, 99, 234*, 235, 237, 283; III², 50
Якоби М. Г. (Jacobi M. H.), III¹, 257, 260*, 283; III², 176, 177, 366
Якобсон (Jacobsohn H.), III², 283
Ямвлих (Jamblichus), I, 74
Янсен (Jansen Zach), I, 140; II, 74, 75, 93
Ятс С. (Yates S.), III², 412, 414

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 457

ко второму выпуску третьей части „Истории физики“ Ф. Розенбергера

Аберрация света 131—133

Абсорбция газов 122—123, 266—271

Агрегатные состояния 262—264, 287—300

Адиабата 84

Адиабатическое состояние 323—324

Аккомодация глаза 151

Аккумуляторы 422—423

Акустика 6, 189, 352—379

Акустическая прозрачность воздуха 379

Атмосфера луны 324

Атомистика 10, 187, 191—222, 238—257, 310—314, 334—339

Ахроматизм 161

Биения 359—563

Блеск металлический 342

Блеск тел 151

Броуновское движение 278—279

Бунзеновская горелка 146

Вес тепловой 84

Весы индукционные 414

Влияние электрическое 420

Водяной воздушный насос 286

Волновая теория света 133—134

Волновая теория теплоты 76

Волновая теория электричества 155, 405

Волны водяные, их успокоение маслом 123

Вращение плоскости поляризации света, магнитное 65

Вращение тел 110—113

Время удара тел 262

Второе начало теории теплоты 12—13, 79—88, 91—92

Вязкость жидкостей 281

Газовая машина 97

Газы, кинетическая теория 78—79, 187, 206—222, 307—314, 3.16—317, 375—377

Гальванизм 156—176, 380—393

Гармоника химическая 369—370

Гармония музыкальная 363

Гироскоп 110

Глаз 150—152

Глазное зеркало 152

Гласные звуки 357—359

Горизонтальный маятник 249—250

Давление динамическое 286

Дагерротипия 120

Движение брошенных тел 105—106

Движение вихревое 255—256, 285

Двойное лучепреломление теплоты 63—64

Двустороннее телеграфирование 384

458 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Действие на расстоянии (*actio in distans*) 230—231, 247—248, 385, 390, 404—405
Диосмос 116—119
Дисгрегация 83
Дисперсия света 341—346
Диссонансы 363
Дифракция тепловых лучей 63—64
Диффузия газов 119, 214, 265—266, 300—301
Диффузия жидкостей 118—119, 277—278
Диффузия твердых тел 264—265
Дихроизм 135
Диэлектрики 382, 392—395
Дополнительные цвета 150
Жидкие пленки 113—114, 368
Закон Авогадро 207
Закон Дальтона-Гэ-Люссака 207
Закон Мариотта 72, 79, 207, 290
Закон Ома 156—157
Звуки от трения 372—373
Звуковые цвета 354—357
Земной индуктор 175
Земной магнетизм 180—181, 407
Изомерия 195—196
Иммерсионные системы 350
Индуктор барабанный 419—420
Индуктор дифференциальный 414
Индукционные весы 414
Индукционные приборы 179
Индукция гальваническая 48, 168—171, 390
— униполярная 391
Интенсивность электрического тока 172—174
Интерференция звука 374, 377—378
Интерференция света 135
Интерференция теплоты 64
Интерференция электричества 155, 405
Иrradiация 151
Испарение твердых тел 294, 295
Истечение воды 281
Калейдофон 364
Калоресценция 142
Калориметрия 72
Кальцесценция 142
Капиллярность 113—116, 273—275
Катодные лучи 402—403
Кипение жидкостей 297
Колебания жидких пленок 368
Колебания простые и сложные 352, 353
Колебание синусоидальное 353

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 459

- Колебания упругих пластин 369
- Коллоиды 118
- Комбинационные тоны 360—362
- Конвекция электрическая 407
- Конденсация газов — см. сжижение газов
- Контактное электричество 46—47, 408—409
- Коэффициент набухания 117
 - скольжения 283—284
 - упругости 127
- Кристаллизация 299—300
- Кристаллоиды 118
- Критическая точка газов 287—288
- Крутильные весы 159—160
- Магнетизм 45—48, 180—183, 400
- Масса 236—237, 240, 245
- Материя лучистая 401—403
 - теория 93—94, 184—257, 337—339, 345, 382—387
- Машины волновые 363, 364
 - динамоэлектрические 418—420
 - термодинамические 96—97
 - электрофорные 420
- Маятник Фуко 107—109
- Меры абсолютные 13, 172—176, 309—311, 349
- Метеорология 153—154
- Методы физики 10—11, 41—42, 100—101, 222—223, 225—226, 325
- Механика 8—9, 97—128, 257—287
- Микроскоп 350—351
- Микроскоп вибрационный 364
- Микротахиметр 414
- Микрофон 412—413
- Молекулы, их свободные пути 212—213
 - их скорость 78—79, 210—212
 - их столкновение 217
 - их размер 114, 220—221
 - их число 220
- Молния 179
- Мультипликатор 420
- Мыльные пленки 113—114
- Натурфилософия — см. материя и силы физические
- Невесомые 23, 328—390
- Непроницаемость материи 234
- Обертоны 353—359
- Облака 153
- Оптика 7—8, 128—154, 324—352
- Оптика физиологическая 150—152
- Опыт Лейденфроста 73—75

460 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Опыт Плато 111—112
- Отклонение падающих тел 101—105
- Отклонение снарядов 105—106
- Отражение света от прозрачных тел 129—131
- Отражение света полное 131
- Отражение теплоты 63
- Отталкивание акустическое 228
- Охлаждение при испарении 74, 291
- Охлаждение тел 309
- Параллелограмм сил 98—100
- Паровая машина 95—97
- Пары, их упругость 71—72
- Перегретый лед 295—296
- Передача силы 421—424
- Перпетуум мобиле (Perpetuum mobile) 43, 57
- Пламена манометрические 367—368
 - поющие 369—373
- Плеохроизм 135
- Плотность земли 101
- Поглощение света 135—136, 148, 326, 342—346
- Поглощение теплоты 62, 67—68, 326
- Положения Карно 80—81
- Поляризация света 129—130
 - теплоты 63
 - электрическая 47
- Последействие упругое 258—262
- Потенциал 46, 380—386
- «Потные» изображения 120—122
- Поющий волчок 373
- Превращение сил 14—61
- Преломление тепловых лучей 63
- Приливы и отливы 29
- Прилипание газов и жидкостей 268—276
- Принцип Гамильтона 88
- Принцип наименьшего действия 88
- Притяжение и отталкивание материи 191, 202, 204, 226—233, см. также тяготение
- Пыльные фигуры 377
- Работа 13 и сл. 224—225
- Радиометр 314—319
- Радиофония 416
- Разветвление электрического тока 157—158
- Разностные тоны 360
- Разряды электричества 178—179, 396—403
- Рассеяние энергии 81
- Растворение твердых тел 271—272, 292—293
- Растекание жидкостей 123, 124, 276
- Расширение тепловое 71

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 461

Резонанс 355

Резонанс оптический 329

Резонаторы Гельмгольца 355

Световые лучи темные 137, 140, 151—152, 403

Свет электрический 423

Свободная длина пути молекул 212

Сжижение газов 125—126, 290—293

Сила мускульная 70

— осмотическая 117

— тока 173—174

— тяжести — см. тяготение

Силы молекулярные 94, 195, 218—219, 258—259

— напряжения 42—43, 225

— стержневые 44

— физические 6—7, 11—13, 13—61, 97—101, 163, 165—166, 184—185, 190—193, 198—204, 379—380, 383—390, 392—395, 404—405

Сирена электрическая 362

Скольжение жидкостей 283—294

Скорость распространения звука 375—379

— распространения света 132—134

— распространения тяготения 248—250

— распространения электричества 177—178

Созвучия 363

Сонометрия 373—374

Соппротивление гальваническое 175—177, 414

Сохранение силы 12, 14—16, 251

Спектральные линии, их смещение 338—341

— явления и спектральный анализ 137, 138, 144—149, 152, 324—341

Спектроскоп реверсивный 340

Спектроскопы 328—329, 340—341

Стробоскопический диск 363

Суммовые тоны 360

Сфера действия молекул 213, 221

Сфероидальное состояние материи 73—74

Телеграфия 384—410

Телефоны 368, 411—414

Температура абсолютная 79, 89—93

— критическая 287—290

Температуропроводность 305

Теория теплоты механическая 76—97, 300—313

Тепловое вещество 89

Тепловой вес 84

Теплопроводность 214, 303—314

Теплопроводность кристаллов 67—68

Теплопрозрачность 65—67

Теплота 12—13, 24, 33—39, 45, 57, 61—97, 192, 287—324

Теплота лучистая 62—67

— от изменения объема 72

— от химических процессов 69—71

— удельная 71—72, 79, 94, 312—314

462 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Термодинамическая функция 84
- Термодиффузия 301
- Термометр 292
- Термостолб 417
- Термофония 416
- Термоэлектричество 47, 409
- Течения в жидкостях 284—285
- Течение твердых тел 262—263
- Тоны органических труб 371
- Тоны от щели 373
- Точка замерзания, понижение ее давлением 94—95
- Трение внутреннее 119, 214—218, 280—286
- Тяготение 18—21, 187—188, 226—251
- Удар тел 252—253
- Упругость газов и паров 71
- Упругость материи 234, 252, 253
- Упругость твердых тел 126—128
- Фигуры Лиссажу 364, 365, 368
 - равновесия вращающихся жидкостей 111—112
- Флюоресценция 138—144
- Фонаутограф 367, 369
- Фонографы 367—369
- Фонтан 280—281
- Фосфоресценция 136—138
- Фотография 352
- Фотометрия 346—350
- Фотофон 415
- Функция Карно 91—92
- Химические действия звука 373
 - действия света 149, 351—352
 - действия теплоты 336—338
 - действия электричества 46 —47, 173
- Хронограф 377
- Хроноскоп 365—367
- Цвета тепловые 63, 67
 - атмосферы 153—154
- Цвет воды 154
- Цвета мутных сред 152
 - субъективные 150
- Цветовое ощущение 150
- Цилиндрический индуктор 420
- Чувствительное пламя 370
- Эквивалент теплоты 17, 19 — 20 35—39, 51—56
- Эквивалент эндосмотический 116
- Электрические машины — см. машины электрофорные, динамоэлектрические и т. д.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 463

Электричество 8, 13, 21—22, 44, 45—48, 155—183, 192, 202—203, 204, 379—424
— атмосферное 179—180

Электричество от трения 46, 172, 406—408

— при прохождении жидкостей через пористые перегородки 407

Электродинамические законы, основные 162—174, 380—390

Электродинамометр 171—172

Электрометр 160—161

Электромоторные машины 417—423.

Электропроводность 178, 396—397

Электротехника 409—424

Электрофор 420

Элементы гальванические 410

— их диссоциация 336—338

Эндосмос — см. диосмос

Энергия 89, 185, 223—225, 236

— солнца 27—29, 319—324

Энтропия 84

Эолова арфа 372

Эфир 129, 139, 156, 184, 197—198, 202, 227—229, 235—236, 239, 242—243, 247—248,
344—346, 386—392, 401—403

Редакция *А. П. Юшкевича*. Оформление *И. Я. Костиной*. Корректурa *А. И. Рунова*.
Сдано в производство 7/VIII 1935 г. Подписано в печать 22 II 1936 г. Печ. лист. 28. Бум.
л. 14.
Тираж 10.000.
Формат 62X94¹/₁₆ Печ. знак, в 1 б./л. 120.000. У. а. л. 35. Заказ № 914.
Ред. общетехн. дисциплин № 24. Уполн. Главлита № В—35520. Цена 9 р. Пер. 1 р.
2-я типогр. ОНТИ имени Евгении Соколовой. Ленинград, просп. Красных Командиров,
29.