

**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	304

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 считать 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 счел 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 ньютоналинцев 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 утопиков 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 Матъеза, 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 Бекком 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 калориметр 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 предположения, 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 Розенбергер 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 иглы 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 Прюта 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 деление 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, *«Динамомашинна 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 допустить существование 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*.

Миросозерцание 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 „Прошлое 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 пронизательностью, 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 завоевывает 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 придти 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 иске 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

с их 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 накопившимся 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 Дальтоном 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 математико-механическими 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, redige 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 здоровые 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 дойти 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 незначительным 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 системы*¹. 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 Ньютому. 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 Лессажа 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, *она 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 форономия 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 невысказима, 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 условие¹, 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-Боссу (*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 самодеятельности не подлежит сомнению³. 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 невесома 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 невесомаю материю, для которой были бы невозможны какие бы то ни было весы, а именно, если бы эта материя была несжимаемой*»¹. Такую относительно невесомаю 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, пронизывающую 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 области².

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.

НАТУРФИЛОСОФИЯ ШЕЛЛИНГА 59

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 большего 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 сферы². 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 света³. 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 уравновешиваясь, поднимаются на высшую ступень единства⁵.

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 полноты 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 Гегелю¹: «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, наружную и внутреннюю поверхность 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. I 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 действия

¹
«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 опытом ².

«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 гnezдами 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 ми 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 самодеятельности 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 самодеятельности 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. Обратное, 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.

Наблюденные 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 кверху. 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 Томпсон¹ 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 теплорода³. 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 длиной, 7,75 дюйма толщиной и высверлить в нем канал длиной 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 Беддаес 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, 1, 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, Tubingen 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 промежуток 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 полукубической 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 Штурма¹. 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, накаленная 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 Маннгеймской 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 собственною 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 собственною 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'aérestat*, Paris 1783; *Faujas de Sain-Fond, Descriptions des experiences aérostat de MM. Montgolfier*. т. II, Paris 1783.

³ Barthéiemy 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 ключья 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.

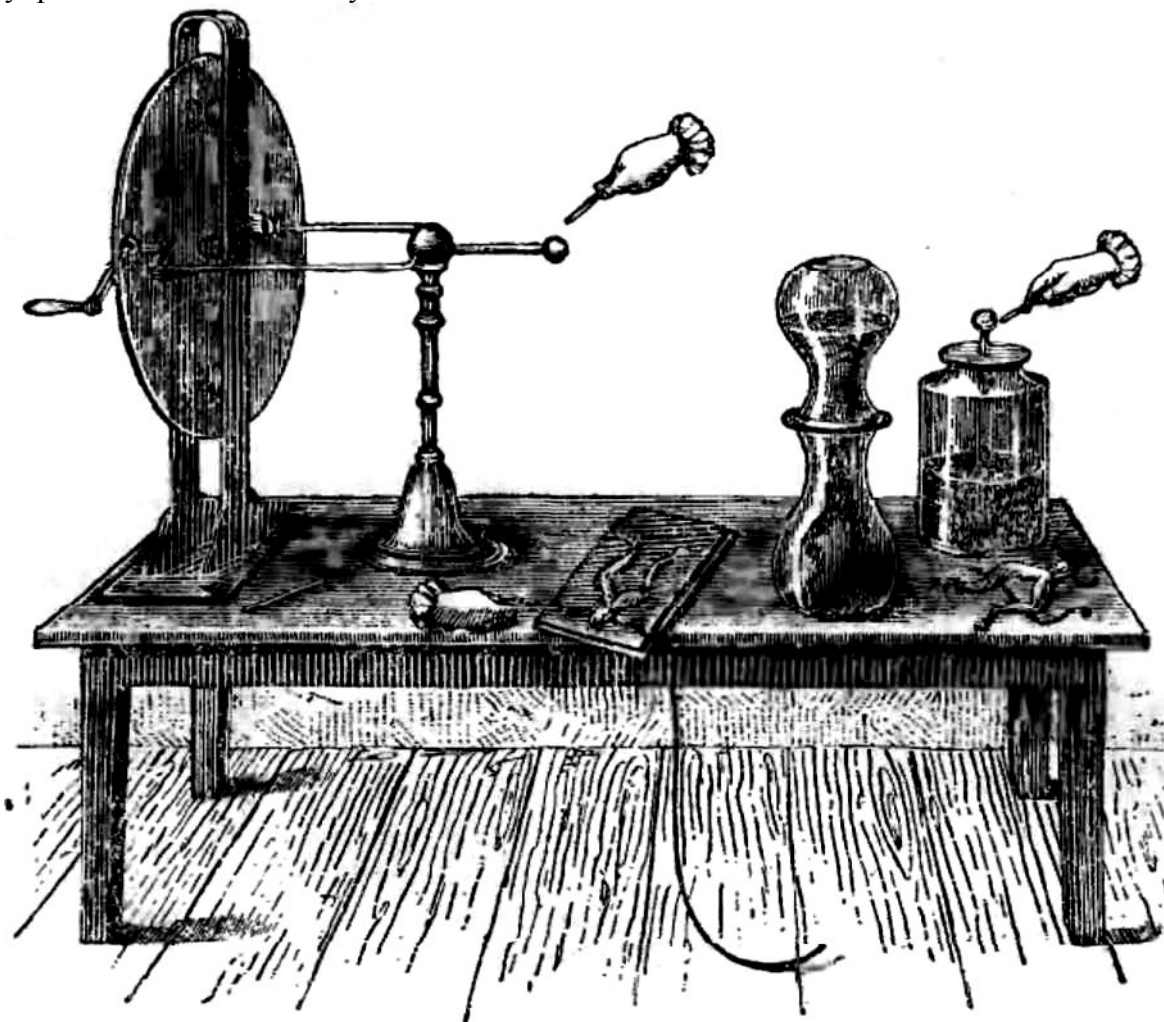
² Aloysi Galvani, Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektrizität auf die Bewegung der Muskeln, übersetzt von Dr. Johann Mayer, Prag 1793.

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.

ВОПРОС О НОВОМ ВИДЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

85

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.

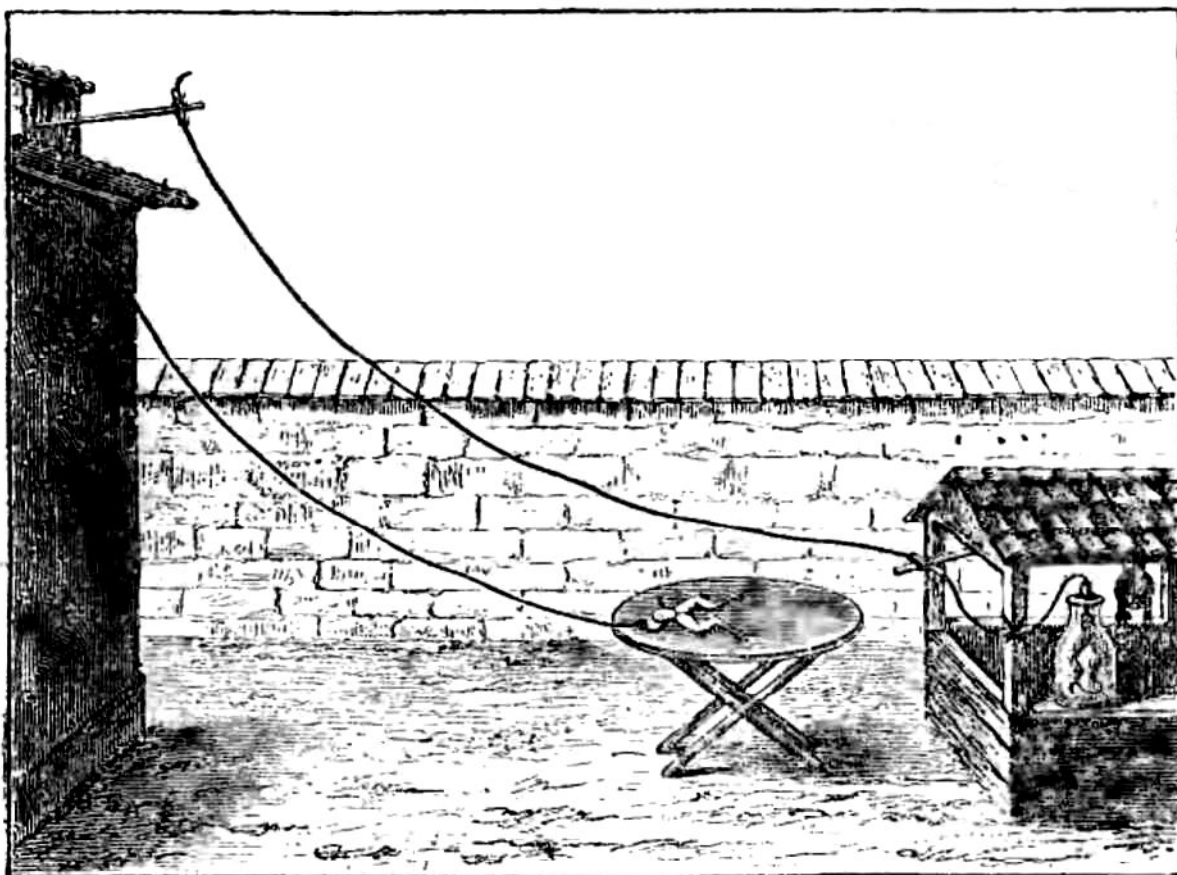


Черт. 1.

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, серебра¹, 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 славою 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 ножами. 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 Евсевий 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", Histoire 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 Вольта 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. Вольта 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.

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. Гумбольдт¹, 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. Фоулер² 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. Фабброни³ 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. Nervenfaser 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-Марумом¹ и Паэтсом ван-Труствиком², 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 Дейман³ 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.

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. Генли¹ 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 Делюк², 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 полиспагом. 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 десятимиллионную* 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 придти 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. *Chevreul*, 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 вращенной Земли вокруг оси. Бенценбер², 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 осесть³. 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 злое 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

чёт 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 Монгольфье 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 возраставшее 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, Ньюге 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 («*Purométrie*», 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° С, 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 1800 г. — 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.

108 ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОСТИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ

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 Pphysik*, VII, стр. 509 и в *Gehler's physik. Wörterbuch*, 2. Aufl., II, стр. 316.

110 ДИФФУЗИЯ ГАЗОВ

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 торичеселлиевой 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 подъем³. 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).

112 ОТНОШЕНИЕ ФИЗИКОВ К ТРУДАМ ДАЛЬТОНА

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. Делюк¹, 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. Дальтон², который тоже упустил из виду расширение сосуда, определил температуру наибольшей плотности еще выше Делюка, а именно 5,83° С. Румфорд³ 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 возбуждали⁴. 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 пирометр⁵ 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 Био⁶.

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 *Riggenbach, 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.

УКРЕПЛЕНИЕ ТЕОРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 117

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 оттеснена 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 Банка, 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 вперемежку 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 Карлейлю¹. Последний вместе с Никольсоном² 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 обществу³, 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 $\frac{3}{4}$ 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 полюсе⁵. 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. (*Horpe*, 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 продукта 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 воды¹.

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*. Готро² 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. Риттер³ 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 проволочки, 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 проволочка, 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 *накапливается* 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 соединились 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 краснокалийном 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 сильнее 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 впоследствии ¹ 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, возразил ² 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 Копп ³, после внимательного рассмотрения данного вопроса, приходит к заключению, что *Дэви первый и раньше Берцелиуса* ⁴ 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 (Линкецинг), 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.

ТРУДНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ 125

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 доброкачества 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 Фукура, 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).

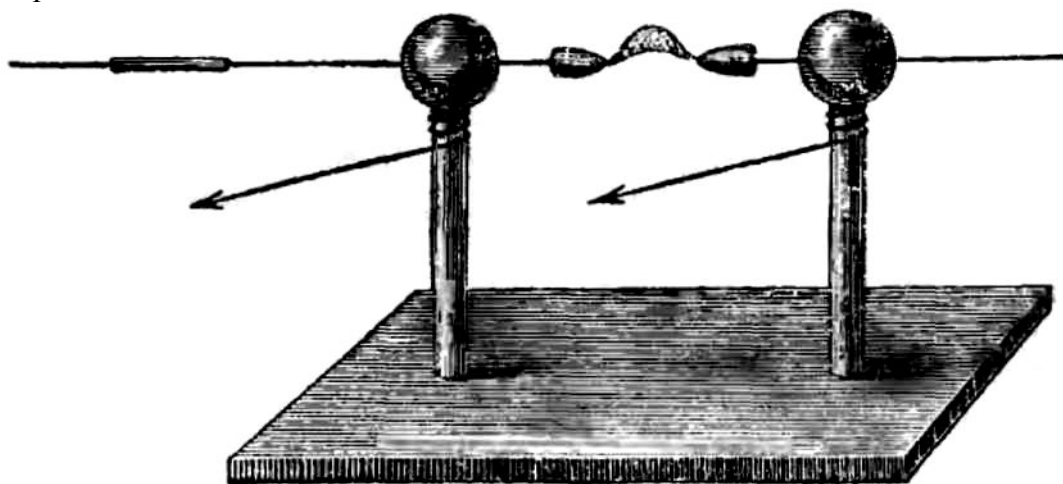
⁴ „Gilbert's Ann.," XXXVII, стр. 71, 1811.

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 дуге... 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 недоставало. 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 высокопочтительному 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-

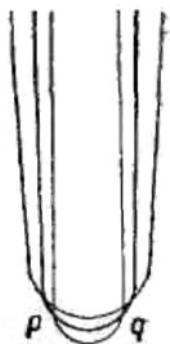
¹ У Хладни не было предшественников в открытии как продольных, так и вращательных колебаний, о которых сейчас будет речь. По его собственному замечанию только *Риккати* (*Delle corde*, Bologna 1767) заметил, что струна, укрепленная на одном конце и натянутая грузом, подвешенным на другом ее конце, попеременно 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-

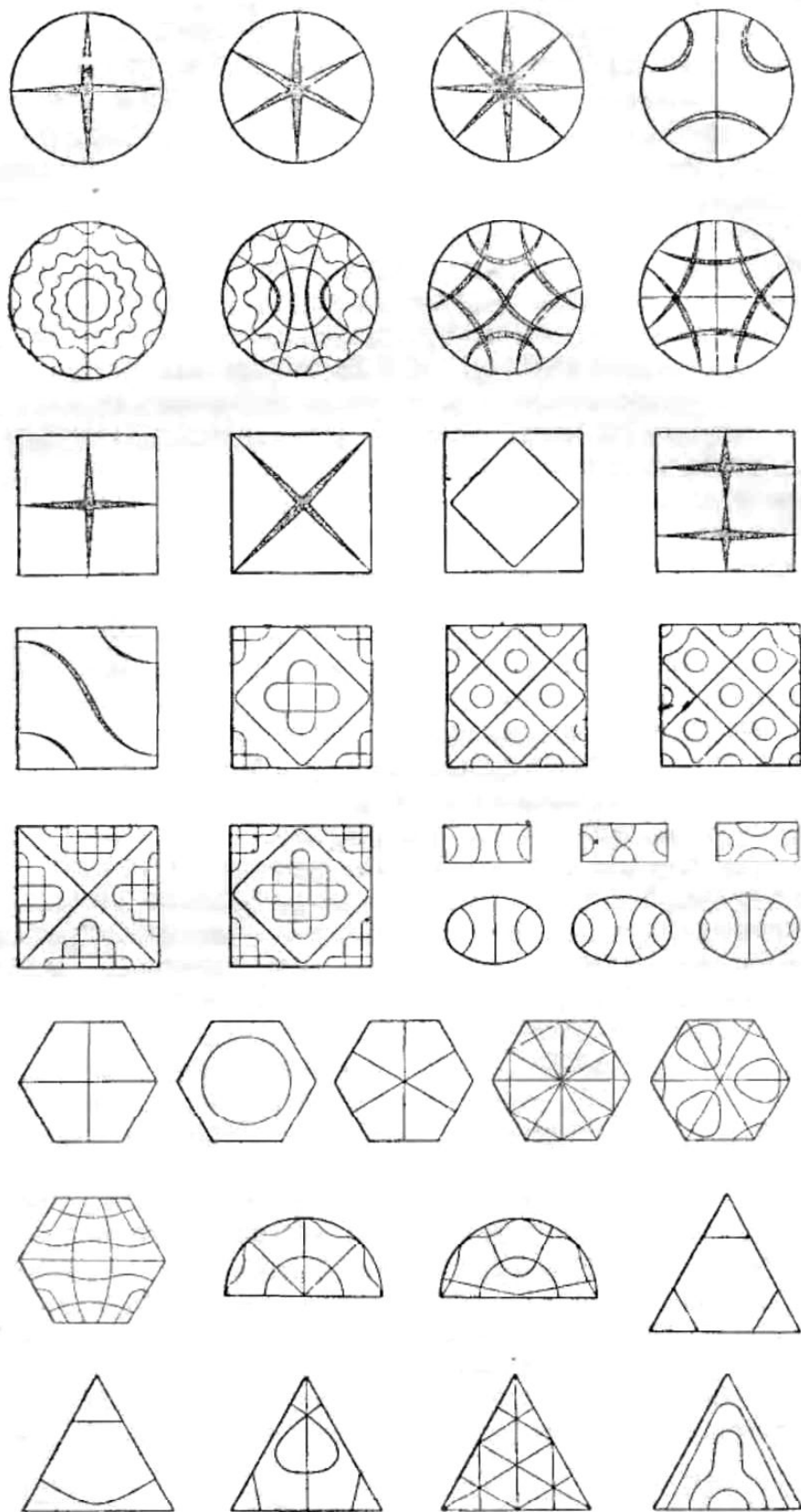


Черт. 4.

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.

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 неполноту 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, заключающую 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. Ср. Kirchhoff, Wissenschaftl. Abh., Leipzig 1882, стр. 237.

² Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques, M'em. 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 органых 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	
		наблюдаемая	вычисленная
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 ссылался 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 наблюдаемой 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 ученые 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 наблюдаемых 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 gazes, *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 длиной 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 органых 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; буковое 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 Мунке¹ 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 («Strell'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 органных 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 Вентан³ 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕРТОНОВ 139

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 инструмента¹. 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 присоединился 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. Хладни², 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 диссонансирующих 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 Joug* [(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.

140 ТЕМБР

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 календарь 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 льщу 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.

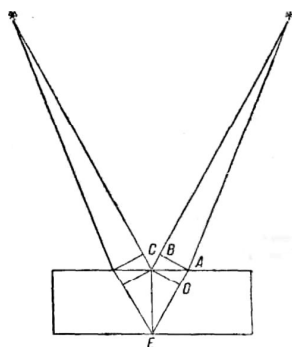
² Robert Smith (известный оптик), Harmonics or the philosophy of musical sounds, 3-е изд. от 1749 до 1762 г.

³ Lectures, II, стр. 608—609.

ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИН

143

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 миллиардов
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 дифракции². 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.

146 БОРЬБА ДВУХ ТЕОРИЙ СВЕТА

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 явственных 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.

БОРЬБА ДВУХ ТЕОРИЙ СВЕТА 147

раздо точнее *ньютонových* 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 проникательный 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 нисколько не лучше ньютонových «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 *sämmtliche Werke*, немецкий перевод, Лейпциг 1854, I, стр. 231—232).

³ *E. Verset*, *Wellentheorie des Lichtes*, немецкий перевод Р. Экснера, 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 réfléchié 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 *аргоните, 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 двойко 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 sämmtl. 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.

ОПТИЧЕСКИЕ ОСИ КРИСТАЛЛОВ. ТЕОРИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ 151

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.

152 ОБЪЯСНЕНИЕ ДВОЙНОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ

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 придти 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 каменистых 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 турмалина¹.

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 влияния². Био нашел, что эти цвета толстых пластинок, подобно цветам тонких пластинок, происходят от вращении 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 придти 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. J. В. Biot 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 Beitrage 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 используя 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 цвета ¹. 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.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ЦВЕТА 159

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 принял 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).

162 УЧЕНИЕ О ЦВЕТАХ И БОРЬБА ДВУХ ТЕОРИЙ СВЕТА

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-бытие 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 всеобщими 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. *остаётся 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, Sämtliche 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.

НАТУРФИЛОСОФИЯ ГЕРБАРТА 167

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 притяжение, 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, теплороде 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. Тl., 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 особую 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 особым непонятным 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 друзей². «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 вибрирующей световой материи, вибрирующему 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 безнадежная 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 ближайшем будущем 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 румфордской 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 *sämmtliche 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, пропуская 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 дедукиии 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 происходят 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 иголочным 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 $r^2 + r_1^2 + r_2^2$, 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 lichtetes*, 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 обеих 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, показав², 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 „*Annales 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. Но 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, Vd. 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 придавал 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 Vervollkommung 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 глаз¹. *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 долее 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 сотрясений, 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 Prechtel (1778—1854 г., 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, состоящую 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. Petersbourg", II, стр. 116 и сл., 1860.

³ Erlenmeyer u. Lewinsein, „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. Майер¹, 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 году², 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, Швейггер⁴ изобрел в сентябре 1820 г. мультипликатор⁵, а Поггендорф вскоре дал ему форму,

¹ „Göttinger Gelehrte Anzeigen“, № 171, 1820.

² Schweigger's Journ.", XXIX, стр. 364. Ср. *Hoppe*, Geschichte der Elektrizität, 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 Швейкгер-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, склонности 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 назвали *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 вольтова 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 целом 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 направление¹. Позднее Ампер уже не касался более этого вопроса, так как, по словам Мунке², 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 повесил 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:

$$I = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^n} [\cos \varepsilon - (K - 1) \cos \theta \cos \theta_1].$$

Особыми опытами над действием замкнутых круговых токов друг на друга и на элементы токов Ампер определил неизвестные постоянные $n = 2$ и $K = -1/2$, откуда получилось:

$$I = \frac{i \cdot i' \cdot ds \cdot ds'}{r^2} (\cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \theta \cos \theta_1)^4.$$

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».*

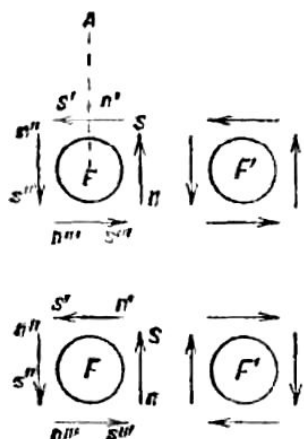
Несмотря на это, казалось, по крайней мере, вначале, как будто другие теории электромагнетизма и электродинамики, в которых недостатка не было, имеют лучшие виды, чем теория Ампера. Эрстед и Фарадей еще раньше Ампера разработали подобные, хотя и менее совершенные теории. Эрстед уже в первом своем сочинении 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 декартовских 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 нажимание 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 Forhandling, 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 Линари¹ 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 Пельтье² 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 Ленцем⁵, 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

ненки 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.

РАЗВИТИЕ ЗАКОНА ОМА 203

ного действия на проводниках, x — их длину, а величины a и b — постоянные, зависящие от возбуждающей силы и от сопротивления прочих частей цепи¹. 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 l , 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 мультипликатора².

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 Ферюссакком (Férussac).

УЧЕНИЕ О ТЕПЛОТЕ 205

упомянутому им извлечению ¹. Ому работа Пулье впоследствии принесла пользу в том отношении, что закон его стал известен и во Франции. В Англии Ч. Уитсон ² 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 математика 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 Био ³, 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 Фурье ⁴, который в 1822 г.

¹ Ср. 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 теплоты 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 ТЕПЛООВОГО 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 закупленного 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 разделение 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 Elementarmoleculë 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 Бераром¹. 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 утверждал², — 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 газов³. Но когда против полученных ими результатов были высказаны многочисленные возражения, они тоже стали пропускать через калориметр струи газов⁴. 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.

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ 213

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 Брегет (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.

Газы	Значения k	Газы	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 случаи 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 сам¹. 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. 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, переброшившее, 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 предполагаемых 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.

ТЕРМОМУЛЬТИПЛИКАТОР

219

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 область 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	0,54
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 ми 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-Пуэллемом 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) накаливаемый таким же образом до 390° медный тигель; 4) сосуд с кипящей водой.

² „Annales de chimie et de physique”, LXXV; „Pogg. Ann.” LI, 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 им 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,

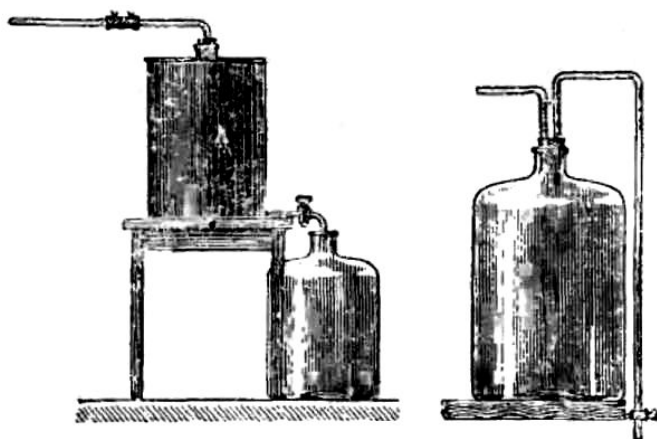
³ John Frederic Daniell (родился 2 марта 1790 г. в Лондоне, умер 13 марта 1845 г. в Лондоне, сначала — промышленник, с 1831 г. — профессор химии в Лондонском Kings College), On a New Hygrometer, „Quart. Journ. of Science", VIII и IX, 1820; „Gilb. Ann.", LXV, стр. 169, 409. Берцелиус (Fortschr. de Physik, 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 Иоахимтальской 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.

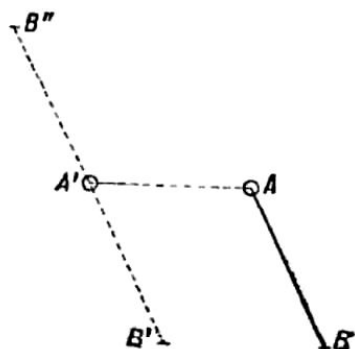
³ Brunner, Bestimmung des Wassergehaltes der Atmosphäre, „Pogg. Ann.“, XX, стр. 274, 1830.

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.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ. ГАУСС 227

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. Ср. 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.*

ЗНАЧЕНИЕ ГАМИЛЬТОНОВСКОГО ПРИНЦИПА. СИЛОВАЯ ФУНКЦИЯ 229

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 д'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 назвал *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 Cajus 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 Лагранж² доказал, что производные этой функции по определенным координатам равны составляющим силы, разложенной по этим координатам. Вскоре затем Лаплас³ 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 показал⁴, 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 plusieurs 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». Эту эквивалентность 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.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ 233

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 Пуассона¹ 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 Коши², 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“.

234 ДЕФОРМАЦИЯ УПРУГИХ ТЕЛ

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 Коши¹, так и Пуассон² применили свои формулы к выводу деформации однородных упругих тел под влиянием определенных натяжений или давлений, к определению колебаний прутьев, пластинок, перепонок, струи 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-Латура³ подтвердили этот результат; однако более поздние измерения Вертгейма⁴ 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 Якоби⁵ 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.

ТЕОРИЯ ВОЛОСНОСТИ 235

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 aequilibrii, 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

Фишер¹ исследовал эти явления подробнее, но странным образом связал их с химическим действием. Если завязанную с одного конца пузырьком 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 Дютроше² 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 Нолле³. Относительно *причины эндосмотических явлений* мнения долгое время расходились. Берцелиус⁴ 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 перегорках из обожженной глины, то стал приписывать эти явления особому действию *электричества*. Магнус⁵ 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 настоятельная 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).

ТЕОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВОЛН 241

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 этого 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

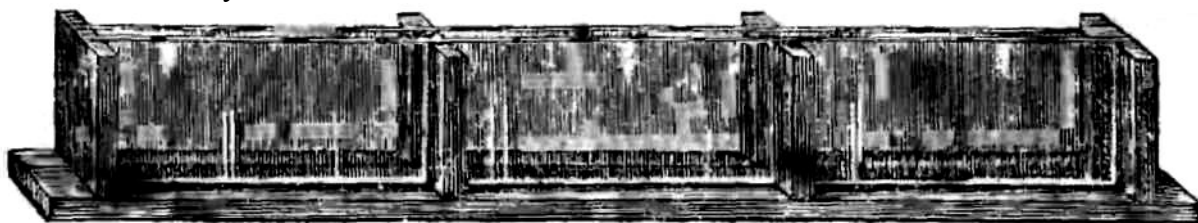
¹ Хладни, принимавший во внимание больше результаты волнообразного движения, чем отдельные детали последнего, рекомендовал „Учение о волнах"... Веберов („Pogg. Ann.", V, стр. 345, 1825) как превосходное сочинение, необходимое для изучения хладниевых фигур, а также вообще для акустики, богатое новыми 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.

ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ. РЕЗОНАНС 245

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. Пуассон (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 направлению¹.

Вторичные колебания натянутого каната были полностью и успешно изучены Эйлером². 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 утекает 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 язычковых 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.

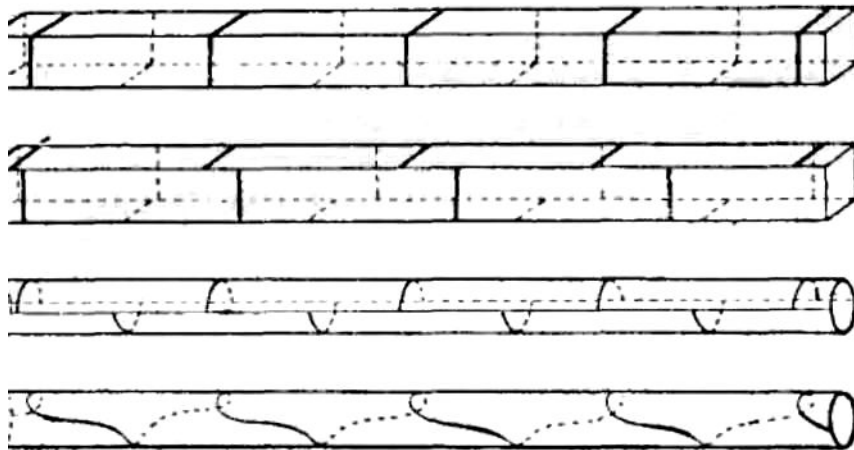
³ Для тогдашнего состояния оптики очень характерна осторожная мягкость выражений, при всей твердости убеждения, равно как и то обстоятельство, что в пользу волновой теории приводятся лишь отражение и интерференция без упоминания о двойном преломлении поляризации.

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 противоположащих 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 удалось 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. Franclin. № 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 2¹/₂ 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 глазу 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.

КОЛЕБАНИЯ ПРИ ТЕПЛОВЫХ РАСШИРЕНИЯХ 253

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. Тревельян², 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 теплопроводности³. 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 металлом⁴. Однако Зеебек⁵ 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. Тиндаль⁶ 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

содействию 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 [Michael 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 magnetism; new electrical state of condition of matter; explication of Arago's magnetic phenomena, 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 сбою 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 проволочной 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 *экстратока* (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.* Экстратоки 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 экстратоков 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 *Норре, 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 1329 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 1334 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 Jahresbericte 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, Brunshweig 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 8^{1/2} 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 проволочной 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 напряжением*². 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.

ОТРИЦАНИЕ ФАРАДЕЕМ АСТЮ IN DISTANS. ЭЛЕКТРОЛИЗ 263

*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 средству. 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 средство 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 средства в частицах, вызываемого электричеством; видоизменение это состоит в том, что химическое средство 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 вольтаметр и тигель с *расплавленным хлористым оловом или хлористым свинцом*. Таким образом он установил, что на 0,49742 грана газа в вольтаметре 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-*

БОРЬБА КОНТАКТНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИЙ 265

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 $\lambda\nu\omega$) — растворять), а разлагаемые током вещества — *электролитами*. Поверхности, с которых электричество входит в жидкость, названы *электродами* ($\omega\delta\zeta$ — путь); та, на которой выделяется кислород, *анодом* ($\alpha\nu\alpha$ — вверх); другая, на которой выделяется водород, *катодом* ($\chi\alpha\tau\alpha$ — вниз). Продукты разложения вообще названы ионами (правильнее ионтами, от $\epsilon\iota\mu$ — 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 походят 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 Fortsch. 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. V. 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.

ЗАЩИТА ФАРАДЕЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ 267

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'ectricité 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.

268 ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ В БАТАРЕЕ

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 правильнее 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.

ТЕОРИЯ БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛ 269

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

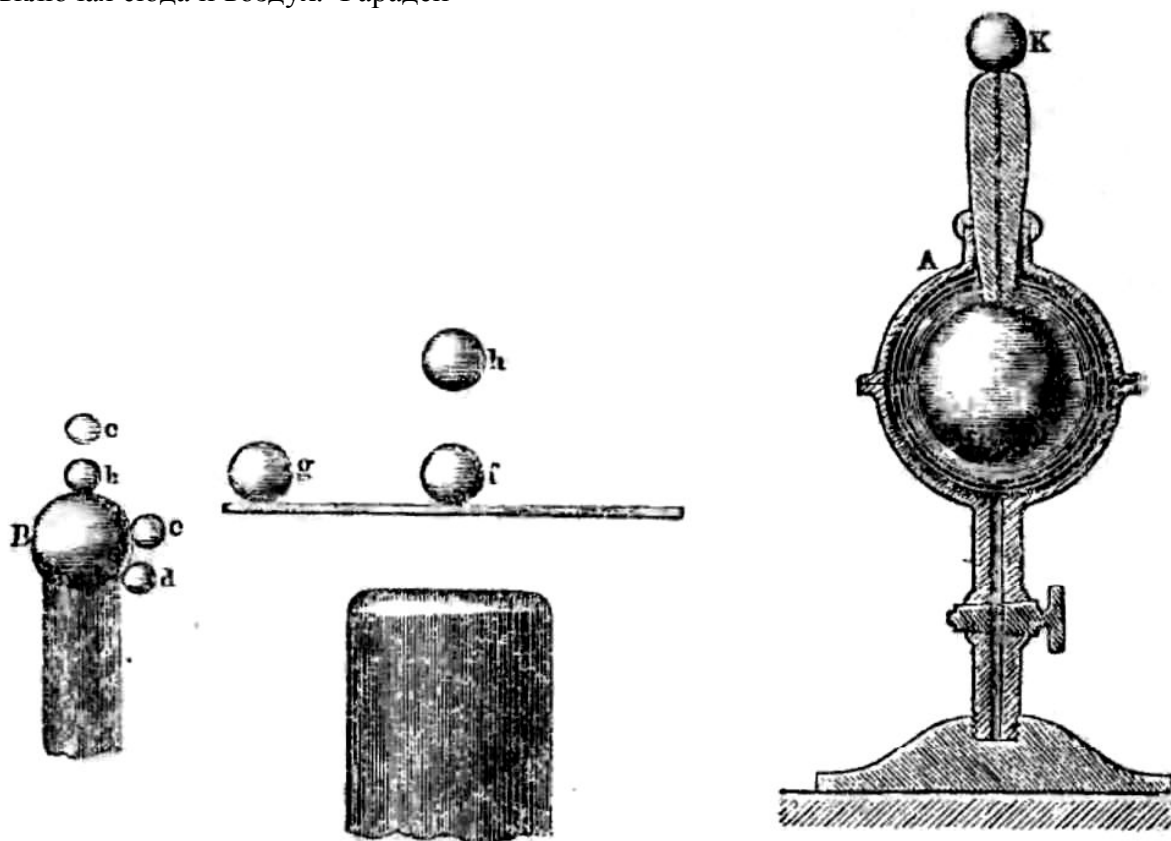
были сомнения и насчет силы тяготения, он последнюю оставил пока в стороне и сосредоточил свое внимание на действии электрических и магнитных сил на расстоянии, стараясь, насколько возможно, совершенно отделить их от силы тяжести. Более удобной для этой цели он считал не вновь открытую динамическую, 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 $1\frac{1}{2}$ 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 Фарадея 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

272 ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ РАЗРЯДА

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 серии¹.

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 длиной 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 частях². 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.

БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ В РАЗРЯДЕ. ЗАЩИТНИКИ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ 273

*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 посередине 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 Рисс*⁴, 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 Глочестере, 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 другую, 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.", LI 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.", LI, 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 пробуровленную 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 естественнее 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. Elektricität*, III, стр. 794—795, 1883.)

² Experimental researches..., series XXI. Позднее Phil. Mag. XXXI; On the diamagnetic conditions of flame and gazes, 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 terrestri 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 силе³, Фарадей перешел к выполнению только что намеченной им задачи⁴. 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 magnet electric current as a test and measure of magnetic force, Philosophical Transactions, 1852; series XXX: Constancy of differential magnecrystalline 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

твердо 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 время², 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 физики¹.

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 металлы².

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 научное 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. Пиксием.

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*).

ОПТИКА. ТРУДНОСТИ В ОБЪЯСНЕНИИ ДИСПЕРСИИ СВЕТА 285

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 т. 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.

РАБОТЫ ПО ДИСПЕРСИИ СВЕТА 287

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 материи, 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 определенны 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 Kirchoff, 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. Араго² приписал это явление неполному *ахроматизму* глаз, а Вреде³ считал иррадиацию дифракционным явлением.

Зеебек⁴ 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 тоны смешивались чаще всего.

Уитстон впервые доказал⁵, 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.) Брюстер⁶. Но Мозер уже в 1841 г. предложил и указал способ получения изображений для уитстоновского стереоскопа при помощи волшебного фонаря, вместо рисования от руки⁷.

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 Гальбот 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 Осмервиль⁷ 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.

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ 293

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 перебивал в руках у всех, в этот период уже утратил интерес. Теперь внимание было привлечено *стробоскопом* Штампфера, 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 «Compt. Rend. Acad. Sci. Paris» (t. 17, p. 100)). 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-Поуэльль 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
Вевелл-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-Брайаи 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
Конфлиачи 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
Стерджен 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
Эркслебен 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 бинокулярное (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
- Преобразование 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.