

**DIE GESCHICHTE DER
PHYSIK
IN GRUNDZÜGEN**

von

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

Ф. РОЗЕНБЕРГЕР

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

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

Предисловие С. Ф. ВАСИЛЬЕВА

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

**ИСТОРИЯ ФИЗИКИ В НОВОЕ
ВРЕМЯ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО**

МОСКВА — 1933 — ЛЕНИНГРАД

ОГЛАВЛЕНИЕ

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

Т 14-5-4

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

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

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

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

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

6 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

И это обстоятельство, разумеется, не является случайностью.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

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

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

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

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

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

8 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 9

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

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

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

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

² Перев. Тымянского, стр. 38.

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

10 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 11

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

Лучше всего этот языковой антагонизм, выражавший собою антагонизм социальных сил, выявил Галилей. «Я пишу по-итальянски, — сообщил он в письме к Паоло Гвальдо, — для того, чтобы каждый мог прочесть мое письмо и работы. Меня побудило к этому зрелище того, как многие приступают обычно к занятиям, не имея к ним склонности, посвящают себя профессии врача и т. д., нисколько не будучи к тому способными; и как, наоборот, другие, которые были бы способны к этому, погрязают или в домашних заботах, или в других далеких от науки занятиях, потому что при всех своих природных дарованиях они не в состоянии прочесть латинских трудов и уговаривают себя затем, что эти томищи содержат сплошь важные и не доступные их разуму вещи по логике и метафизике; они должны убедиться, что природа, давшая им, как и философам, глаза, чтобы видеть ее творения, дала им также разум, чтобы быть в состоянии постигать их². Ольшки совершенно справедливо замечает по этому поводу: «Ясно, что требования нецеховой публики были для него (Галилея) ближе, чем привычки ученых, потому что он чувствовал себя связанным с первыми; обстоятельства укрепили его в этом мнении. Язык указывает пути, какими наука из занятия узко ограниченного круга стала делом общего значения задолго до того, как просветительная публицистика, либерализм и демократические учреждения оказались благоприятными для их развития»³.

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

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

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

² Соч. Ediz. nazion., т. XI стр. 327.

³ Gesch. d. neusprachlich. wiss. Literatur, т. III (Цитировано по Ольшки).

12 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

Приведем наудачу один пример.

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

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

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

¹ См. стр. 44 наст. изд.

² Стр. 54 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 13

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

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

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

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

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

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

14 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 15

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

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

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

¹ Стр. 44 — 45 наст. изд.

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

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

16 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

¹ «Рассуждение о методе», стр. 96.

² «Oeuvres», т. I. стр. 85—86.

ПРЕДИСЛОВИЕ 17

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

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

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

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

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

18 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

Гораздо хуже, что в бэконовском индуктивизме и восхвалении

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

² Там же, стр. 116.

² Там же, стр. 116.

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

⁴ Стр. 97 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 19

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

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

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

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

¹ Стр. 106 наст. изд.

² Стр. 106 наст. изд.

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 21

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

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

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

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

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

¹ Стр. 43 наст. изд.

² Стр. 43—44 наст. изд.

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

22 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

² Стр. 74 наст. изд.

³ Стр. 94 наст. изд.

⁴ Стр. 114 наст. изд.

⁵ Стр. 114 наст. изд.

⁶ Стр. 141 наст. изд.

⁷ Стр. 147 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 23

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

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

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

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

¹ Стр. 149 наст. изд.

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

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

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 25

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

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

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

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

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

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

Читатель видит теперь, сколь недостаточна характеристика, давае-

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

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

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

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

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

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

¹ Том II, стр. 227.

ПРЕДИСЛОВИЕ 27

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

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

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

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

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

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

¹ «Oeuvres», т. II, стр. 282.

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

28 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 29

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

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

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

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

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

30 С. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

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

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

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

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

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

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

³ Rosenberger, I. Newton, стр. 380.

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

⁵ Предисловие к III тому.

ПРЕДИСЛОВИЕ 31

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹ Стр. 247 наст. изд. Курсив Розенбергера.

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

³ Письмо 4. § 45.

ПРЕДИСЛОВИЕ 33

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

² Стр. 333 наст. изд.

ПРЕДИСЛОВИЕ 35

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

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

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

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

¹ Соч., т. III, стр. 154.

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

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

Теперь перейдем к фактическим дополнениям и поправкам.

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

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

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

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

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

² Стр. 110 наст. изд.

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

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

ПРЕДИСЛОВИЕ 37

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

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

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

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

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

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

С. Васильев

¹ См. *С. Васильев*. К вопросу о происхождении физики Декарта, Изв. АГУ, Вост. Ф., т. IV.

² См. напр. стр. 153—154 наст. изд.

³ Стр. 218—219 наст. изд.

⁴ Стр. 332.

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

В предисловии к первой части предлагаемого сочинения были изложены основы, на которых я считаю необходимым построить историю физики. Я остался верен им и в этой второй части, вследствие чего по этому вопросу считаю себя в праве сослаться на упомянутое предисловие.

Все, вероятно, найдут целесообразным, что в этой части я подробнее прежнего излагаю труды тех физиков, на которых в очень большой степени основывается вся наша современная наука. Точно так же надеюсь не подвергнуться осуждению за более подробное изложение некоторых физических теорий, которые для своего времени имели огромное значение, хотя и утратили его для нашего. Не говоря уже о том, что без знания подобных систем немислима травильная оценка работы целых столетий, знакомство с ними может принести большую пользу и в другом отношении. Последнюю я не в состоянии сформулировать лучше, чем это сделал в нижеследующих словах Альберт Ланге: «Тот, кто в истории видит непрерывную цепь заблуждений и истин, кто понимает, что «приближение к бесконечно далекой цели совершенного познания осуществляется при посредстве бесчисленного множества ступеней; кто понимает, что самое заблуждение становится источником многообразного и прочного прогресса, — тот не будет слишком спешить со своими заключениями о незыблемости наших гипотез на основании фактических успехов современности. Важнейшим результатом исторического исследования является такого рода академически спокойное отношение, которое, исключая враждебность и увлечения, позволяет видеть в наших теориях и гипотезах то, что они представляют собою в действительности, а именно ступени того бесконечного приближения к истине, которое составляет очевидную цель нашего умственного развития¹.

Д-р Фердинанд Розенбергер

Преподаватель реальной гимназии.

¹ *Lange, Geschichte der Materialismus*, 4. Ausg., стр. 502 — 503.

III. ИСТОРИЯ ФИЗИКИ НОВОГО ВРЕМЕНИ

(приблизительно с 1600 до 1780 г.)

Чем полнее знакомишься с каким-либо естественным рядом явлений, тем труднее указать в нем строго определенные грани. Все естественное не поддается так легко схематизации, в которой человеческий ум, по-видимому, нуждается для ясного понимания. Приходится ли нам приводить в систему ряд объектов природы или же разбивать на периоды историю развития какой-либо отрасли культуры — органическое течение материала всегда противится расчленяющему действию нашего ума. Пишущий историю физики тоже испытывает трудность при ее подразделении, притом возрастающую по мере того, как с приближением к современности для него становятся все яснее связующие звенья прогресса. Пока над океаном забвения поднимаются лишь отдельные научные вершины, их легко признать незаблемыми оплотами в потоке развития. Но когда пробелы начинают заполняться, и волна умственного движения начинает нарастать правильно и постепенно, проходя перед глазами наблюдателя без резких прерывов, — всякое разграничение становится более или менее произвольным и в лучшем случае только приблизительно верным. При этом систематик, имеющий дело с циклом умственного развития, находится еще в сравнительно лучших условиях, чем лицо, систематизирующее естественные процессы. В постепенном прогрессивном развитии последних почти немыслимы отдельные резкие скачки; в истории же культуры деятельность одной гениальной личности нередко заменяет собою работу целого периода и сразу выводит на свет то, что при обычном течении вещей могло бы быть создано лишь за продолжительные периоды времени.

Такой пример представляет *возникновение новой физики*. Правда, целое предшествующее столетие стремилось отыскать твердую почву для этой науки, но до конца XVI в. берег едва был виден в тумане. С началом же XVI в. в физике явился Колумб, указавший путь к искомому матерiku и сделавший плавание настолько легким и безопасным, что и менее одаренные умы могли уже смело пускаться в море. Поэтому относительно времени возникновения новой физики вряд ли возможно какое-либо сомнение, и если имеется еще некоторое разногласие, то только в том признавать ли Колумбом *Галилея* или *Бэкона*. Но, во-первых, это разногласие мало влияет на установление даты возникновения но-

40 ВВЕДЕНИЕ

вой физики, и, во-вторых, как будет показано ниже, на морях физики искусным кормчим был один лишь Галилей; Бэкон же являлся в лучшем случае систематизатором правил мореплавания.

Однако, если начало новой физики может быть указано сравнительно легко, то, с другой стороны, трудности несоразмерно возрастают при дальнейшем ходе подразделения. Существование периодов неоспоримо и в последующем; изменение областей исследования, а равно и методов тоже происходит вполне явственно; но дело в том, что изменения в науке уже не так легко относить к отдельным личностям или строго определенному времени. В одних случаях движение идет правильно и постепенно, не изменяясь неожиданно под влиянием особо выдающихся умов; в других самым выдающимся умам уже не под силу охватить сразу всю область физики и все ее методы, вследствие чего изменения в различных отраслях науки происходят не одновременно, а в известной постепенности. Но в то же время потребность в правильной систематизации делается все настоятельнее по мере накопления материала. Порою является искушение остановиться на выдающихся внешних событиях и создать искусственную систему, по примеру искусственной системы царств «природы, хотя такое подразделение, весьма удобное для составителя, едва ли способно удовлетворить любознательность читателя. Поэтому мы решились, не считаясь с трудностями, провести *наиболее естественное подразделение физики, принимая одновременно во внимание и состояние человеческого знания в целом.* Насколько удачно нам удалось повсюду провести этот план, мы решать не беремся и охотно допускаем, что со специальной точки зрения математика, философа или экспериментального физика в отдельных случаях можно было бы, вероятно, придти к другим выводам.

В первой части предлагаемого сочинения мы показали, что до XVII в. *в физике были известны только два метода: философский и математический.* Натурфилософия и математика заимствовали свои основы из опыта повседневной жизни, из материала, открытого непосредственному наблюдению. Экспериментального метода, самостоятельно создающего эти основы, в то время еще не существовало. Если в отдельных случаях и производились систематические опыты, то лишь для измерения количественных сторон явлений; некоторые ученые прежнего времени, правда, пробовали исторгнуть у природы ее тайны, но действовали при этом без плана, ощупью; *опытного же исследования явлений, наблюдения в смысле физического метода, не существовало.* Пытаясь объяснить различные явления, физик не сознавал в то же время необходимости точного и всестороннего изучения их и опытной проверки своих гипотез. Экспериментальное исследование еще не проникло в область науки; оно едва успело дойти до его порога и не приобрело еще никакого значения. Ложным положениям не приходилось бояться опытной проверки, так как мир мысли был несравненно утонченнее обыденного материального мира. В те

ВВЕДЕНИЕ 41

времена полное совпадение философской теории с прямым опытом почти роняло ее достоинство, а расхождение между ними никого не смущало. В философии продолжали сохраняться следы платоновского поклонения идее и презрения к материи. *Натурфилософ* считал для себя унижительным работать вне кабинета, наподобие ремесленника, и гордился исключительным витанием в области духа *Математик*, успевший подчинить формуле ничтожную часть физических явлений, в свою очередь не испытывал потребности производить физические опыты и не сознавал той пользы, которую они могли бы принести ему в приложении к математике. Вот почему, хотя в прежнее время опытов производилось немало, и даже опытов весьма искусных, наука стояла как бы в стороне от них. *Введение опытного исследования в область науки и возведение экспериментального метода на степень общепризнанного научного метода — заслуга XVII столетия.*

В новом научном методе быстро соединились разрозненные до того ветви физики. *Философия* разрабатывала план объяснения явлений природы и создавала гипотезы, касавшиеся сущности явлений; математика выводила из этих общих начал количественные отношения; *наблюдение* же не только давало первый достоверный материал для философской теории, но и служило лучшим подтверждением гипотез, представляя собою проверку количественных отношений, выведенных математическим путем. Таков, по крайней мере, научный характер физики при *Галилее*. К сожалению, не все оценили эту программу по достоинству, и вскоре начался враждебный распад ветвей, едва соединившихся. *Уже в первом периоде новой физики натурфилософия в лице Декарта* начала стремиться к самостоятельности на новых основаниях; но влияние Галилея еще настолько преобладало в среде его учеников, что попытка эта не удалась. Равновесие было нарушено не ранее 1650 г., когда *экспериментальная физика*, в свою очередь, впала в односторонность. Масса новых, неожиданных фактов, главным образом в области воздушного давления, направила внимание ученых исключительно в сторону наблюдения и опыта. *Физики* стали довольствоваться простым изучением явления, не заботясь пока об его объяснении и обращаясь к гипотезам Декарта как к удобному подспорью в тех случаях, когда от них настойчиво требовали разъяснений. *Математики* же частью были не в состоянии овладеть быстро накапливающимся материалом, частью были слишком поглощены разработкой своего великого вспомогательного средства — высшего анализа, чтобы посвящать много сил и времени физике. *Этот период первого преобладания экспериментальной физики можно отнести к промежутку времени между 1650 и 1690 гг.* Затем наступает реакция. В 1680—1690 гг. *Ньютон и Лейбниц* создали высший анализ; *ньютоновская теория тяготения* подчинила математике движения небесных светил; *братья Бернулли, Гюйгенс* и другие ученые достигли в области *математической физики* таких блестящих результатов, что *экспериментаторам* пришлось отступить на второй план.

42 ВВЕДЕНИЕ

Все выдающиеся умы этого периода обратились к математической физике. *Экспериментальная физика*, разумеется, не могла сойти окончательно с арены; некоторые же отрасли ее даже продолжали быстро развиваться. Зато *натурфилософия* была как бы *стерта с лица земли*. Гипотезы Декарта, не поддающиеся математическому анализу, возбудили в физиках нового направления полное презрение, можно даже сказать ненависть к натурфилософии, разделяемую в большей или меньшей степени и физиками наших дней. *Безусловной пользы для науки в этом видеть нельзя*, так как пренебрежение к натурфилософии стало одной из причин чрезмерного накопления в отдельных областях эмпирического материала, для которого не находили и, быть может, не особенно старались найти объяснения. *Преобладание математики* в физике продолжалось, примерно, до 1747 г. Затем *экспериментальная физика* приобрела новый блеск, благодаря поразительным успехам учения об *электричестве*, до такой степени приковавшего к себе внимание ученого мира, что начало и конец *четвертого периода*, с 1747 до 1780 г., могут быть определены по времени нарастания и ослабления этого интереса.

Итак, отдельные периоды физики в действительности выявляются и характеризуются довольно резко. Только конец последнего периода не может быть указан с полной точностью за отсутствием здесь гениального лица или великого открытия, способных провести резкую черту в истории науки. Если я, тем не менее, заканчиваю историю новой физики 1780 г. и с него предполагаю начать обзор новейшей физики в III части моего сочинения, то поступаю так потому, что общая совокупность факторов, из которых каждый в отдельности и не является решающим, проводит здесь, на мой взгляд, довольно резкую черту. Эту свою точку зрения я надеюсь более подробно обосновать в конце предлагаемой второй части своего труда.

I. ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

(приблизительно с 1600 до 1650 г)

*XVII столетие окончательно низложило схоластику во всех областях науки. Старые философы-перипатетики не были, разумеется, уничтожены огнем и мечом; они продолжали существовать в замкнутом кругу под мощной охраной католической церкви и еще в течение долгих лет прочно занимали университетские кафедры, но, в сущности, они уже стояли на пути к вымиранию. Собственных вкладов в науку они уже не были в силах дать, и если в чем-либо проявляли самостоятельность, то лишь в упорном противодействии всему новому; старого же они почти не решались защищать. Хотя эти противники новизны в своей оппозиции не останавливались ни перед какими средствами, но на самом деле они принесли науке больше пользы, чем вреда, так как *самые нападки их свидетельствовали о новом духе науки*. Производя, например, опыты с падением тел в надежде опровергнуть законы Галилея, или пробуя объяснить барометрические явления независимо от давления воздуха, перипатетики невольно стали признавать за наблюдением значение научного опыта. *Коль скоро приверженцы старых взглядов обратились к опытному исследованию, они тем самым признали природу источником физических истин*; тем самым натурфилософия, в собственном смысле, была обречена на гибель и встала на путь, который вел непосредственно к новой науке. Тем не менее, победа опытного метода не была бы столь быстрой и полной, если бы к физике не присоединились другие отрасли знания, шедшие в том же направлении. *Важнейшими союзниками ее оказались астрономические открытия, сделанные при посредстве зрительной трубы*, — открытия исключавшие всякое возражение. Как ни отворачивались на первых порах перипатетики от нового прибора, столь враждебного старым теориям, подрастающее поколение и вся разумная часть человечества восторженно приветствовали это орудие, расширявшее его умственный кругозор. Упорнейшие противники должны были, наконец, смириться перед фактом. Правда, тесная связь между физическими и астрономическими открытиями и озлобление духовенства против новых астрономических теорий усилили опасность борьбы для физиков; сверх того враги нового научного направления приобрели могущественных союзников в лице всесильной инквизиции, с одной стороны, и зачастую в лице испуганных протестантских теологов — с другой, но, так или иначе*

44 ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

перевес сил все же остался за физикой. Католической церкви, одержавшей победу над виднейшим представителем науки. Галилеем, пришлось вскоре признать в области науки за опытом авторитет, ей неподвластный; а спустя немного лет в среде самого католического духовенства можно было указать на ревностных экспериментаторов. Церковь, правда, и в последствии сумела удержать за собой право высшего надзора за наукой, не переставая преследовать враждебные ей теории; верно, далее, и то, что духовные лица, подвизавшиеся на поприще физики, долго еще чувствовали на себе гнет церкви, лишь только дело касалось выводов из добытых ими научных результатов; но как бы то ни было, почва для научного исследования, видимо, расчистилась. Коль скоро наблюдение стало свободным, непосредственные выводы, вытекающие из фактов, не могут уже быть уничтожены, по крайней мере, до тех пор, пока не удастся открыть способов господства над человеческой мыслью.

Вдобавок, *новое движение не ограничилось областью физики и астрономии*. В долгий промежуток научной ночи в уме человеческом как бы накопился запас сил, которые при первой возможности заявили о себе, быстро двинув вперед все науки и очищая всюду научную атмосферу от мрака суеверия. *Химия сбросила с себя путы алхимии*. Выдающиеся химики, с *Гельмонтом* и *Боз-Сильвиусом* во главе, восстали против учения о превратимости элементов, объясняя все химические изменения соединением или разложением веществ. Впрочем, как раз химии не удалось еще занять вполне самостоятельного места; она опиралась еще на медицину и своим учением о тождестве всех процессов человеческого тела с химическими как бы старалась удержать, за собой частичку философского камня. В области *зоологии Гарвей* открытием кровообращения разрешил вопрос, который уже давно занимал умы. В *ботанике* внимание исследователей было обращено на органы оплодотворения. Поиски рационального принципа классификации указывают на пробуждение и в данной области чисто научных интересов взамен прежних утилитарных целей.

Математика может гордиться открытием *логарифмов и аналитической геометрии*, но как в первом, так и во втором периоде ее успехи сравнительно медленны. Можно даже сказать, что *по темпу своего развития прикладные науки составляют в это время противоположность математике* — и это по легко понятным причинам. Сильный подъем одной науки привлекает к ней лучшие рабочие силы в ущерб другим отраслям, и наоборот, достижения одной научной области в известном периоде дают средства к быстрейшему развитию в ближайшем времени других наук.

Всего любопытнее в разбираемом периоде *судьба философии*. Низложение схоластики нанесло ей удар, казавшийся, безусловно, смертельным, и сверх того ей пришлось выносить, презрение победителей. Тут-то и проявилась живучесть этой науки. Несмотря

ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ 45

на столь неблагоприятные условия, она не только весьма скоро оправилась, но и достигла нового блеска. Последним она обязана двум гениальным своим представителям: *Бэкону* и *Декарту*. Бэкон произнес надгробную речь схоластике, но только с тем, чтобы очистить почву для нового посева. Убедившись в несостоятельности старой философии, он начал искать новый метод, которому эта наука должна следовать для приобретения прочного положения, и нашел его в *индукции*. Он набросал весь план нового метода, но вследствие медленности, присущей индуктивным операциям, не успел сам довести здание до конца. Подобным же образом, хотя и в другом направлении действовал Декарт. Он тоже начал с ниспровержения всей прежней философии; но, найдя, как ему казалось, прочную основу для всякого знания, принялся тотчас за созидание новой натурфилософии. Признав, что сущность материи заключается в одном протяжении, он из этой основной мысли (правда, при помощи множества других гипотез) пытался воссоздать всю систему природы в одном смелом построении. Возможность объяснить все явления природы при посредстве одного легко понятного свойства материи была слишком заманчива, чтобы не встретить горячего сочувствия, и потому мы увидим, что в последующих периодах наперекор разнообразным препятствиям *картезианские теории продолжают господствовать* даже в области физики. Лишь часть физиков, тяготеющая больше к химической стороне явлений, примкнула к вновь возродившемуся отпрыску старой натурфилософии. Именно, после падения Аристотеля, *Гассенди обратился к старому атомистическому учению* и попытался воскресить его, противопоставив Эпикура с его философией Декарту и его системе. Его примеру последовали в ближайшем времени выдающиеся химики и физики, например Бойль и другие, и с этого времени началось развитие так называемой новой атомистики.

Что касается *физики в тесном смысле слова*, то она на время оставила в стороне вопрос об общих свойствах материи (исключение составляли лишь натурфилософы Бэкон, Декарт и Гассенди). Старая философия так утомила всех спорами о сущности материи, что к этому вопросу уже не возвращались без крайней необходимости. Сущность силы с точки зрения ее действия была впервые и окончательно установлена Галилеем; силы же, как причины он не касался. Подобно Кеплеру, все вообще рассматривали тяжесть как стремление однородных тел к соединению или пробовали объяснить ее магнетизмом. Однако со времени Декарта эти умозрения постепенно прекратились, и после него сила в ее прежнем смысле исчезла из материального мира. По общему убеждению, ни одно тело не могло действовать на другое иначе, как непосредственным толчком, и ни одно тело не могло изменить своего движения без прямого толчка со стороны другого тела. К прежней *статике твердых тел* прибавился только *закон сложения сил* в более ясно осознанной форме; сверх того, галилеевским *законом виртуальных скоростей* был проложен путь для приведе-

46 ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ

ния статических отношений к динамическим. Закон виртуальных скоростей послужил, кроме того, для нового определения уже известных *условий равновесия жидких тел*. Никаких других открытий в этой области нельзя отметить. *Статика газообразных тел* приобрела в конце этого периода прочную основу в учении Торричелли о воздушном давлении; но то были лишь слабые начатки, за которыми широкая разработка последовала только в следующем периоде. Зато в этом периоде возникла *динамика* как особая отрасль физики. Галилей исчерпывающим образом разработал *законы движения свободной точки*, движущейся под влиянием постоянной силы; анализ *движения по определенному пути* тоже удался ему при помощи нескольких не доказанных им, но правильных положений. Об изучении *движений связанных систем точек* или твердых тел тогда еще не помышляли; динамика на первых порах отвлекалась от протяжения и массы движущихся тел. Единственное исключение составляло *картезианское учение об ударе*, но как увидим ниже, исключение далеко не блестящее. В *динамике капельножидких тел* первый шаг представляет *торичеллиев закон истечения*. К *динамике упругих жидких тол* можно было бы, пожалуй, отнести *определение скорости распространения звука* в воздухе, но в данном случае оно имело характер не механического вывода, а чисто экспериментального исследования и потому должно быть отнесено к *акустике*. В последней остается еще отметить открытие первых *законов колебаний струн* и ряд исследований, стоящих в непосредственной связи с этим вопросом. *Оптика* вначале придерживалась прежнего математического пути и достигла очень важных теоретических результатов. Открытие новых оптических инструментов, *зрительной трубы* и *микроскопа*, побуждало к изучению преломления света, и в результате многих изысканий *закон преломления* был найден уже в течение этого периода. В самом начале его *Кеплер* усердно и с успехом работал над изучением свойств *глаза* и его функций. Позднее на первое место выдвинулась *физическая оптика*. Бэкон жалуется еще на пренебрежение к физическому исследованию природы света и на исключительно математическое направление оптики; вскоре, однако, общее внимание было привлечено *учением о цветах*; и хотя качество работ еще не соответствовало их количеству, тем не менее, они выяснили, что *всякое преломление света связано со светорассеянием* (дисперсией). Конец периода ознаменовался одним из важнейших оптических открытий (опубликованным, впрочем, не ранее начала следующего периода), именно *открытием дифракции*, которым наука обязана трудам *Гримальди*. В учении о *теплоте* все еще продолжают гадания о сущности тепла; тем не менее, в этом периоде возникают уже *термоскопы*, из которых после многих напрасных усилий в последующих уже периодах вырабатываются термометры. Учение о *магнетизме* и *электричестве* сделало быстрый шаг вперед в самом начале этого периода, но затем остановилось на одном месте.

ПЕРИОД ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВОЙ ФИЗИКИ 47

Следует, между прочим, заметить, что картезианская теория магнетизма в применении к электричеству продержалась долее всех гипотез французского философа и пала не ранее второй половины XVIII столетия под влиянием ньютоновских идей.

Ни один из предшествующих и последующих периодов не может сравниться с рассматриваемым коротким пятидесятилетним периодом по важности и обилию научных открытий в области физики. Мы хвалимся открытиями нашего времени и гордимся быстрыми успехами в области естествознания; но если пойти на сопоставление, то окажется, что наше время не может выдержать никакого сравнения с рассматриваемым периодом. Правда, наше время достигло в технике, руководимой теоретическими знаниями, результатов неслыханных, изменивших весь строй общественной жизни, и в этом смысле совершило перевороты, о которых раньше нельзя было и помыслить; но оно все же не испровергло и не создало нового мировоззрения. Наше столетие пошло непосредственно по стопам предыдущего, и если оно сделало огромные успехи в отдельных отраслях физики, то зато ни на шаг не подвинулось в других, а в некоторых, например в понимании материи и в теории электричества, оно представляет картину очень слабого развития. Первая же половина XVII в., напротив, воздвигла наново труднейшие отделы физики и умственно вывела человека из тесной сферы, открыв глубины небесного пространства и разрушив вместе с тем веру в его первенствующее положение в мире — веру, которая, очевидно, не могла устоять после того, как самая земля была выведена из центра мироздания.

Рассматривая *успехи нашей науки по отдельным национальностям*, приходится в этом периоде отдать безусловное первенство *итальянцам*. Галилей в своей механике впервые дал классический образец правильной систематической разработки физики; его метод, совершенный и выдержанный во всех частях, исчерпывает предмет и тем более заслуживает удивления, что непосредственных предшественников у него не имелось. Ученики и друзья его тоже шли в авангарде науки в течение этого периода. Во времена Галилея Италия достигла своего высшего научного расцвета и с ним начала увядать. Приговор инквизиции над великим астрономом охладил ревностность последователей, и под гнетом враждебной клерикальной власти наука мало-помалу угасла в Италии. На смену ей выступила *Франция*. Французские ученые с восторгом приветствовали открытия Галилея, громче всех восставали против несправедливых нападков на него и наперекор сильному противодействию в собственной стране защищали его работы, а после его осуждения озаботились изданием его сочинений. *В Англии* интерес к науке очень оживился в царствование Елизаветы, но затем религиозно-политические бури великой революции поставили преграды научному исследованию. Впрочем, имена Бэкона и Гильберта обеспечили Англии почетное место в истории наук. *Германия* более всех других государств пострадала от религиозных войн. Требовался геройский дух Кеплера, чтобы в борьбе

48 ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ В ПЕРИОД С 1589 ПО 1609 г.

с нуждой и гонениями среди волнений 30-летней войны совершить то, что он совершил для науки. Кроме Кеплера, среди немцев выделяются два иезуита, Шейнер и Шотт, укрывшиеся в мирной гавани монастыря от военных бурь. Они были ревностными тружениками, желавшими процветания наук для славы своей церкви; но их работы страдают отсутствием самостоятельности и свободного духа исследования. *Северные государства* еще более отстали в научном развитии. Они сосредоточились на астрономии и дали миру знаменитого Тихо-де-Браге; к прочим же отраслям естествознания они обратились только в ближайший период.

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ родился в Пизе 15 февраля ¹ 1564 г. Его отец Винченцо был известным музыкантом, сочинение которого «Dialoghi della musica antica e nuova» указывает на близкое знакомство с греческой и римской литературой. Несмотря, однако, «а знатное происхождение самого Винченцо и жены его Джулии, у них не было состояния; и когда вслед за рождением их первенца Галилея, семья начала быстро увеличиваться, воспитание детей сделалось предметом их серьезных забот. Поэтому старшего сына они предназначили для торговли сукном, обещавшей непосредственное обеспечение. Это, однако, не помешало родителям, переселившимся во Флоренцию вскоре после рождения Галилея, послать мальчика в латинскую школу. Здесь успехи его в древних языках, логике и диалектике были так поразительны, что отец, несмотря на весьма стесненные обстоятельства, бросил мысль о торговле сукном и остановился на медицине, не исключавшей и материальных выгод для сына.

В 1581 г. Галилей поступил в Пизанский университет и начал с изучения философии. Все тамошние профессора были последователями Аристотеля; пифагорейского учения придерживался лишь один *Яков Маццони*; и к нему-то юноша почувствовал особое влечение. Гигантскими шагами развивались его необыкновенные дарования, наблюдательность, философская проницательность и математические способности. В 1583 г. 19-летним студентом он однажды следил в Пизанском соборе за качанием люстр, висевших на длинных проволоках, и вывел отсюда заключение, измеряя время качания ударами собственного пульса, *что маятники одинаковой длины совершают свои колебания в одинаковый промежуток времени*. Занятия математикой очень рано привели его к самостоятельным математическим работам. Рассказывают, что молодой Галилей, не успевший еще познакомиться с математикой во время посещения латинской школы, попал случайно на математическую лекцию аббата Остилио Риччи; последняя произвела на него такое впечатление, что он немедленно начал заниматься математикой в свободное время. Во всяком случае, он вскоре оказался настолько сведущим в ней, что мог самостоятельно дополнить *теорию центров тяжести твердых тел*; эта первая математическая работа и открыла для него дальнейшие пути. Отец, узнав, что сын относится небрежно к медицинским занятиям, приехал в Пизу весьма озабоченный; но ознакомившись с действительным положением вещей, охотно

¹ *Cantor, Zeitschrift f. Math. u. Physik, XXVIII Jahrg. I Heft, Hist.-lit. Abth, стр. 29.*

ГАЛИЛЕЙ В ПИЗЕ 49

разрешил ему посвятить себя математике. Благодаря, той же работе Галилей познакомился с тогдашними математическими знаменитостями и приобрел особое расположение *маркиза Гвидобальдо дель-Монте*¹, известного знатока архимедовой механики.

Первой исходной точкой галилеевой механики было, таким образом, учение Архимеда; с ним же связано исходное положение его статики — доказательство закона рычага. Весьма рано, опять-таки в период студенчества, выяснились и основы динамики Галилея, но на этот раз не в согласии, а в *противоречии с учением* греков. Математические физики древности вообще не делали никаких попыток для разрешения динамических задач, и в *динамике неограниченно царил Аристотель*: его теория движения служила до тех пор единственным объяснением движений земных и небесных. Только в последнем, т. е. XVI столетии, в среде математиков нарастает стремление к динамическим опытам, которыми, бесспорно, и была открыта борьба против перипатетической теории движения.

Из первой части нашего сочинения нам уже известны взгляды *Тартальи*² на линию полета бросаемых тел и работа *Бенедетти*³ и др. по вопросу о скорости свободно падающих тел. Неизвестно, насколько Галилей был знаком с этими работами; но по первым шагам его научного развития ясно, что он сознавал противоречия аристотелевской динамики. Так, например, он неаккуратно посещал лекции перипатетиков и постоянно препирался с товарищами, которые дали ему кличку спорщика за постоянные нападки на неограниченно господствовавшее учение.

Мы, к сожалению, не имеем возможности подробнее проследить ход развития Галилея, особенно на первых его ступенях. От первого периода его научных трудов не осталось печатных материалов, так как его денежные средства были недостаточны для покрытия типографских расходов. Первые биографы его Вивиани и Герардини познакомились с ним не ранее 1630 г.; кроме того, почти нет примера, чтобы жизнь научного гения обращала на себя внимание в период его развития. Впрочем, в наше время, когда увеличение литературного материала, посвященного Галилею, свидетельствует о возрождении общего интереса к личности великого ученого, приложено много стараний для выяснения первого периода жизни Галилея: в особенности много успели в этом отношении итальянские ученые.

Маркиз дель-Монте принимал живейшее участие в молодом и многообещающем математике, материальное положение которого так мало соответствовало его дарованиям. Через брата своего кардинала дель-Монте он напрасно хлопотал о назначении Галилея профессором в Болонью, но зато ему удалось обеспечить ему *кафедру математики при Пизанском университете* с годичным содержанием в 60 скуди. Здесь *Галилей в своих лекциях открыто выступил против Аристотеля*, доказывая сначала теоретически, по примеру Бенедетти, что все тела *должны падать с одинаковой скоростью*, а затем подкрепляя доводы

¹ Наст. соч. I, История среднев. физики, отдел третий.

² Там же.

³ Там же.

50 ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ НАД БРОСАНИЕМ ТЕЛ

разума прямыми опытами. Для доказательства он бросал камни с наклонной пизанской башни, причем все зрители могли убедиться, что камни достигали земли приблизительно в один и тот же промежуток времени, бросали ли их порознь или связанными вместе. Он и на других телах демонстрировал, что скорость падения отнюдь не пропорциональна весу тел и что стофунтовая бомба едва ли упреждает полуфунтовое ядро на ширину ладони при высоте падения в 200 футов. *Несмотря на всю их очевидность, опыты эти не имели желанного результата.* Профессора-перипатетики доверяли больше Аристотелю, чем прямому наблюдению; они либо умышленно не обращала внимания на опыты юного новатора или останавливались на незначительных различиях в скоростях падения, используя их как аргументы в пользу аристотелевской динамики. Слепые приверженцы старины кончили тем, что проводили своего противника свистками; а когда Галилей имел сверх того неосторожность отозваться неодобрительно о землечерпательной машине, изобретенной побочным сыном Козимы I (великого герцога тосканского), счастливому экспериментатору пришлось удалиться из университета добровольно, чтобы не быть удаленным помимо своей воли.

По счастью, маркиз дель-Монте мог вновь выручить его из беды. Галилей получил профессию по математике при венецианском университете в Падуе еще прежде, чем ему предложили отставку по истечении его трехлетнего контракта с пизанским университетом. Отъезд из Пизы был для него легок и не только потому, что он уносил с собою менее 100 фунтов багажа. 26 сентября 1592 г. он прибыл в Падую, но по семейным обстоятельствам не мог начать лекций до 7 декабря того же года,

Падуя оказалась плодотворной почвой для деятельности Галилея. Его лекции постепенно приобрели громкую известность в этом многолюдном университете. Вскоре не стало аудитории, способной вместить всех, желавших его слушать, так как число это доходило до 2000 человек. Он читал о «Началах» Евклида, «Альмагесте» Птолемея, механических сочинениях Аристотеля, теории планет Пейрбаха. Официальные лекции читались им по-латыни, а частные — на тосканском наречии. В числе его слушателей были знатнейшие граждане, посещавшие знаменитый университет, а также его позднейшие друзья венецианец Сагрето и флорентинец Сальвиати, имена которых он увековечил в своих главных работах.

Одновременно с этими лекциями Галилей не переставал заниматься своей новой наукой, динамикой. Он не только старался доказать, что все тела *падают с одинаковой скоростью*, но и исследовал свойства движения при падении тел. Он нашел, что движение это *равномерно-ускоренное*, и в 1602 г. определил длину пути в течение первой секунды. Наряду с этими вопросами он обратил внимание и на другие отрасли физики, двигая их более или менее вперед. Еще в Пизе, изучая Архимеда, Галилей устроил безмен, *bilanzetta*, для определения металлических сплавов по принципу альгазеновых весов¹ с подвижной

¹ Ч. 1, Ист. среднев. физики, отдел первый.

ГАЛИЛЕЙ В ПАДУЕ. ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕРМОМЕТРА 51

чашкой. При своих лекциях в период около 1597 г. он употреблял тот вид термометров, изобретение которых впоследствии приписывали Дреббелю¹ и др. Доказательством изобретения этого прибора Галилеем в указанный период времени служит не только свидетельство Вивиани (его ученика), но и достоверный факт демонстрирования этого прибора патеру Кастелли в 1603 г. самим Галилеем; сверх того Сагрето в одном письме упоминает, что при своих опытах в Венеции он пользуется прибором своего учителя; наконец, в пользу этого говорит и то обстоятельство, что не только во Флоренции, но и в Падуе хранятся термометры работы Галилея. Галилеевский термометр состоял вначале из открытой стеклянной трубки с припаянным шариком. Шарик слегка нагревали, затем опрокидывали трубку в стакан с водой. При охлаждении шарика вода поднималась по трубке и в дальнейшем высотой своего уровня указывала на изменение температуры и до известной степени на ее величину. Позднее погружение в стакан было оставлено: в вертикально стоящую трубку с шариком, обращенным вниз, вводили каплю воды, которая, поднимаясь и опускаясь, указывала на увеличение или уменьшение тепла. Утверждать по примеру некоторых, что идея этого прибора была внушена Галилею изучением Герона, нельзя, потому что в сочинениях Галилея нет ни малейшего намека на этот счет. Что касается самого прибора, то назвать его *термометром* было бы неправильно, так как на него влияет не только температура, но и воздушное давление; в лучшем случае его можно признать *термоскопом*. Тем не менее, в нем нельзя не видеть первой попытки устройства термометра, надлежащая форма которого была достигнута через сто слишком лет. Другое изобретение Галилея, *пропорциональный циркуль*, тоже относящееся ко времени его пребывания в Падуе, приблизительно к 1597 г., не имеет отношения к физике. Оно, однако, сильно способствовало известности Галилея вследствие спора, возникшего по этому поводу. Противник Галилея *Бальтазар Капра* хотел присвоить себе честь этого изобретения, но был уличен в полнейшем невежестве и предан осмеянию, а его трактат был публично осужден и запрещен.

Контракт Галилея с Падуанским университетом истек в 1599 г.; но Венецианская республика продлила его еще на шесть лет и в знак признания особых заслуг своего профессора увеличила его денежный оклад. Галилей был таким образом обеспечен и пользовался сравнительным покоем до времени своих великих астрономических открытий и оставления университета, столь благоволившего к нему. Мы проследим позднее дальнейшие события его жизни; теперь же обратимся к более подробному обзору его заслуг в области физики.

Первое место количественно и качественно здесь занимают его механические работы. Механика составляла главнейший предмет занятий Галилея в течение всей его жизни; ей посвящено его первое и последнее творение. Правда, открытия в механике не принесли ему при

¹ Дреббель обнаружил свое изобретение в 1604 г. (Burskhardt, Poggendorf. Ann., CXXXIII, стр. 681). Историю дреббелевского мифа излагает Wohwill; см. Poggendorf. Ann., CXXXIV, стр. 163.

52 РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ ГАЛИЛЕЯ

жизни столь громкой известности, как астрономические, распространившие с поразительной быстротой славу гениального ученого по всему тогдашнему цивилизованному миру, зато они и не навлекли на него жестоких гонений. Между тем, для знатока они всего яснее свидетельствуют о гениальности своего творца и на них, главным образом, основываются права Галилея на титул основателя новой физики. *Много причин побуждают или даже заставляют нас здесь же рассмотреть в общей их связи все его механические работы*, несмотря на то, что сочинения его, являющиеся наиболее зрелым и полным выражением механики Галилея, появились не ранее 1638 г. До 1610 г., когда ему пришлось отказаться от университетского преподавания, Галилей излагал свои взгляды с кафедры. Они имели решительное влияние, в смысле потрясения авторитета Аристотеля, уже в то время, т. е. еще до своего появления в печати, и мы совершенно неправильно понимали бы историю развития физики, если бы приняли 1638 г. за начало влияния Галилея. Нам, правда, неизвестно, насколько систематически была разработана механика Галилея в первый период его деятельности, но многое заставляет думать, что основные положения были им уже открыты и излагались в его лекциях в Падуе. В своем сочинении о деятельности Галилея в Падуе ¹ Фаваро утверждает, что между 1602 и 1609 гг. Галилеем была уже найдена параболическая форма линии полета тел. Если это так, то уже около этого времени следует считать новую науку разработанной в основных ее чертах; мало того, один трактат, о котором мы будем говорить ниже, заставляет отнести некоторые основные положения Галилея к еще более раннему времени. *Деятельность Галилея сосредоточивалась преимущественно на механике именно в первом периоде, и высшая сила его творчества в этой области проявилась тогда же*. Позднее его время и внимание поглощали главным образом астрономические занятия; и только после того, как инквизиция парализовала его деятельность в этом последнем направлении, он использовал досуг для более полного и систематического изложения добытых им ранее результатов.

Главный труд Галилея по механике носит заглавие: *«Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, attenenti alla meccanica ed ai movimenti locali, di Galileo Galileo Linceo, Filosofo e Mutematico primario del serenissimo Gran Duca di Toscana»* и был напечатан в первый раз Эльзевирами в Лейдене в 1638 г. Трактат, написанный несколько ранее и появившийся первоначально во французском переводе Мерсенна ² и только в 1649 г., после смерти Галилея, — на итальянском языке под заглавием *«Della scienza meccanica»*, имеет менее важное значение. По своему содержанию эта работа относится преимущественно к статике, и главным предметом исследования здесь служит равновесие так называемых простых машин, рычага, наклонной плоскости, клина, блока и винта. Здесь характерно только соединение статики с динамикой: законы равновесия выводятся из одного положения, которое служит простейшим выражением закона вир-

¹ Galileo Galilei e lo studio di Padova, Флоренция, 1883.

² Les mecaniques de Galilee. Париж, 1634.

СОЧИНЕНИЯ ГАЛИЛЕЯ ПО МЕХАНИКЕ 53

туальных скоростей. Впрочем, закон этот применялся Галилеем уже гораздо раньше. Так, в трактате «*Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*», 1612 г., он старается защитить *гидростатические положения Архимеда* и доказать их при помощи виртуальных скоростей. Здесь он уже дает определение *момента силы*, понятия, к которому он во многих случаях обращается в своем главном сочинении при определении действия силы.

Если уже отсюда можно заключить о раннем вступлении Галилея на новый путь в механике, то еще убедительнее в этом отношении последнее его сочинение, чисто механическое по содержанию: «*Sermones do motu gravium*». Это сочинение было впервые опубликовано в большом флорентийском издании сочинений Галилея в 1854 г., после того как Либри и другие ¹ указали на их историческое значение. Дело в том, что хотя «*Sermones*» должны быть отнесены ко времени пребывания Галилея в Падуе или даже к 1588 г., в них изложены основные законы движения, учение об изохронности качаний маятника, о свободном падении тел по отвесной и наклонной линии и т. д. 50 лет спустя Галилей формулировал главнейшие положения динамики по-латыни в своих «*Discorsi*», в большей части своей написанных на итальянском языке ², причем оказывается, что они почти слово в слово заимствованы из «*Sermones*» и, стало быть, красноречиво свидетельствуют о раннем происхождении галилеевской механики ³. Кроме приведенных нами четырех сочинений чисто механического содержания, для оценки механики Галилея имеет большое значение его знаменитое астрономическое сочинение: «*Dialogo intorno ai due massimi sistemi del mondo*», а также многочисленные письма, собранные впервые с надлежащей полнотой в издании 1854 г.

Механика древних распадается на две совершенно отдельные ветви: *на статику, трактуемую чисто математически, и на динамику, трактуемую чисто философски*. В первой из них высшей точки достиг Архимед; его закон рычага, определения центра тяжести и теорема о потере веса тел в жидкостях составляли в разбираемом нами периоде основное содержание математической механики. Арабы и христианские механики средних веков не прибавили к древнему учению ничего существенного, за исключением способов более точного и полного определения удельного веса и нескольких исследований касательно центра тяжести. Они продолжали работать в рамках, указанных механикой Архимеда, не выходя из этих рамок нигде, если не считать нескольких разрозненных и незначущих попыток. *Динамика того времени была всецело связана с именем Аристотеля*. Во всех университетах не

¹ Histoire des sciences en Italie. IV. 179.

² В «*Discorsi*» беседа между тремя лицами: Сальвиати, Сагрето и Симпличио происходит по-итальянски; только во второй части книги, касающейся динамики, положения, служащие темой беседы, написаны на латинском языке.

³ Favaro (Galileo Galilei e lo studio di Partova, Флоренция, 1883) высказывается против столь раннего происхождения «Механики» Галилея и считает даже рассказ Вивиани об опытах в Пизе неверным. Он относит развитие механического учения Галилея ко времени пребывания в Падуе, между 1602—1609 гг., во всяком случае, однако, к первому периоду его научной деятельности.

54 СКОРОСТЬ ПАДЕНИЯ НЕ ЗАВИСИТ ОТ МАССЫ

только преподавалось учение о тяжести и легкости тел, о совершенном и несовершенном, естественном и насильственном движении без малейшего отступления от аристотелевского текста, но это учение послужило основанием целого мирозерцания, которого нельзя было подвергать сомнению, не рискуя поплатиться за это, как за преступление революционного характера.

Галилей принялся изучать Архимеда с серьезной математической подготовкой и благодаря своей работе над центрами тяжести познакомился, как мы уже знаем, с маркизом дель-Монте, наиболее выдающимся механиком того времени. Но молодой студент был не только математиком; он изучал философов, в особенности Аристотеля, в подлиннике; он сам говорит, что философии посвятил больше дней своей жизни, чем часов — математике. *Натурфилософия Аристотеля приводит Галилея к динамике, но он тотчас же вступает в противоречие с нею.* Положение, что скорости свободно падающих тел пропорциональны их весу, еще ранее возбудило сомнение Бенедетти и др. *Галилей приводит новые основания в доказательство внутренних противоречий аристотелевского учения о движении.* Если правильно, что более тяжелое тело падает скорее менее тяжелого, то при соединении двух тел тяжелое должно ускорять падение легкого, и наоборот, легкое — замедлять падение тяжелого. Скорость соединенных тел должна быть, следовательно, средней. Но, с другой стороны, согласно аристотелевскому закону падения, вся масса, соединенная вместе, должна иметь большую скорость, чем более тяжелое из тел, что противоречит первому положению. Далее Аристотель утверждает, что скорость тела в различных средах обратно пропорциональна плотности сред. Если это так, то скорость тела при бесконечной разреженности среды или в пустом пространстве должна быть бесконечно большой, что опять-таки немислимо.

Однако таким путем нельзя было одержать решительной победы над Аристотелем; это показал опыт предшественников Галилея. Против приведенных выше доводов можно было с точки зрения перипатетиков возразить, что пустого пространства вообще не существует и что о падении тел в последнем *вообще* не может быть речи; в заполненном же пространстве части должны, очевидно, падать медленнее целого тела — доказательство чему дает тело, измельченное в порошок. Поэтому Галилей и не ограничился такого рода доводами, а прибегнул к наиболее естественному и при всем том наиболее трудно осуществимому средству — к точному систематическому наблюдению явлений. *Но, как ты уже знаем, даже опыты бросания тел с наклонной Пизанской башни оказались бессильными поколебать скрепленные веками предрассудки.* Перипатетики сосредоточили свое внимание на незначительных различиях скоростей падающих тел и на малой величине пройденного пути, утверждая, что неравенство скоростей падения может стать вполне очевидным лишь при прохождении телами многих тысяч футов. Таких длинных путей падения нельзя было осуществить, и Галилею пришлось придумывать новые доказательства. Он *обратился к открытой им изохронности качаний маятника.* Маятники одинаковой длины имеют колебания одинаковой продолжительности, все равно, сделаны ли они из дерева, камня или из металла большего или

ГИПОТЕЗА О ЗАКОНЕ ПРИРАЩЕНИЯ СКОРОСТИ 55

меньшего веса. Но так как движение маятника сводится к падению тяжелого тела по дуге круга, то отсюда следует, что сила тяжести в одинаковой степени ускоряет эти падающие тела, и мы, стало быть, имеем право вывести обратное заключение, что если отвлечься от *сопротивления воздуха*, то все тела при свободном падении должны иметь одинаковую скорость. *Галилей производил опыты и с катанием различных тел по наклонным плоскостям* и нашел в них подтверждение своей мысли о равномерном ускорении всех тел силой тяжести.

Опыты с маятниками и с наклонными плоскостями во многих отношениях лучше подходили для решения вопроса, чем простое падение тел с высоты, а сверх того они были доступны каждому. К сожалению, доказательность их страдает от видоизменения действия тяжести внешними препятствиями. Для устранения последнего недостатка следовало бы определить в точности свойства этих видоизменений, но подобное определение требовало *целой теории движения, новой механической науки, динамики*. Построение этой науки было в высшей степени затруднительно. Натурфилософские основания не годились для этой цели, так как предметом рассуждения были опытные явления, требовавшие, прежде всего математического определения. Чисто математическое построение тоже не могло помочь делу, так как без гипотетической основы математика не могла найти точки опоры для непрерывно изменяющихся величин движения. Оставалось одно: *соединить вместе все три метода физики и из свободного от логических противоречий положения о природе движения математически вывести законы последнего, а затем посредством опыта убедиться, следует ли природа на самом деле этим законам и подтверждается ли таким образом основная гипотеза*. Решение этой задачи не только количественно обогатило физику прибавлением новой области, но и впервые на примере указало физикам правильный метод их науки. Уже одна эта заслуга дает Галилею полное право на титул основателя новой физики.

Итак, дело сводилось к отысканию *наиболее достоверной и свободной от противоречий гипотезы*, из которой могли бы быть выведены законы движения тел при падении их с высоты. Простейший опыт показывает, что все тела падают с постоянно увеличивающейся скоростью, и перипатетики этого не оспаривали. Но спрашивается, каков закон этого ускорения, каким образом увеличивается скорость с течением времени? Галилей отвергает гипотезу пропорциональности скорости и пройденного пути, доказывая, что при этом условии немислимо никакое движение. Он полагает, что все тела должны падать простейшим образом, так как все естественные движения являются в то же время в своем роде наиболее простыми. *При падении камня «а землю простейшим видом увеличения его скорости было бы ускорение, сообщаемое ему в каждое мгновение одинаковым образом, т. е. такое, при котором увеличение скорости было бы одинаково в равные промежутки времени*. Галилей приписывает это равномерное ускорение постоянному по своей величине импульсу к движению, постоянной силе, но не распространяется подробнее о причине действия силы — предмете, о котором в его время существовали весьма различные мнения. Вопрос, почему тела стремятся падать по направлению к зем-

56 ДОПОЛНЕНИЕ ЗАКОНА ИНЕРЦИИ. СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ

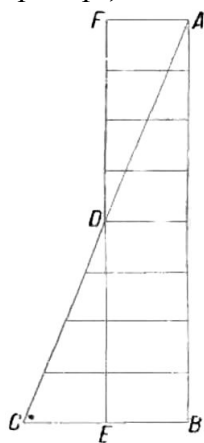
ному центру, тоже не имеет отношения к настоящей проблеме. Достаточно принять, что постоянная сила равномерно ускоряет движение всех падающих тел, а затем исследовать свойства этого движения и посредством опытов убедиться, что движение падающих тел действительно имеет все предполагаемые свойства.

Для решения своей задачи Галилею пришлось радикально перестроить все учение о движении. Прежние натурфилософы применяли по отношению к механике метафизический закон: «нет действия без причины», лишь наполовину: *ни одно тело не переходит из состояния покоя в состояние движения без действия какой-либо силы.* Они предполагали, что всякое движение может прекратиться и без внешнего препятствия, само собой угаснуть, как свет, которому недостает питания, если какая-либо сила не будет поддерживать движения. Галилей видел односторонность, присущую такому толкованию закона инерции; он заметил, что прекращение всех земных движений, протекающих без поддерживающей силы, может произойти только от препятствий, встречаемых земными движениями в сопротивлении воздуха и других явлениях, и дополнил механическое истолкование упомянутого метафизического закона следующим образом: *ни одно тело не может изменить своей скорости ни по величине, ни по направлению без действия какой-либо силы.* Только после такого пополнения закона инерции можно было, по его мнению, приступить к изучению движения. Если тело, хотя бы короткое время, находилось под действием какой-либо силы, то оно и по прекращении ее действия должно двигаться далее с постоянной скоростью. *Такое движение называется равномерным и характеризуется тем, что тело проходит при нем равные пути в равные промежутки времени. Если же тело находится под длительным действием силы, то оно в каждое мгновение получает новый импульс к движению, следовательно, его скорость должна постепенно нарастать — движение должно быть ускоренным.* Для определения того, каким образом происходит ускорение от постоянной силы, необходим закон сложения скоростей, сообщенных телу силой в каждое мгновение. Найти этот новый закон было очень трудно. Исходя из вероятного предположения, что постоянная сила должна производить одинаковые действия, т. е. равномерное увеличение скорости, Галилей пришел к заключению, что *прибавление новой скорости к уже существующей является простым сложением и что, следовательно, постоянная сила сообщает телу в равные промежутки времени одинаковые скорости независимо от того, находится ли тело в покое или в движении.* Итак, если падающему телу в первый момент его падения сообщен импульс и, следовательно, некоторая скорость, то скорость эта остается ему присущей навсегда, если его движение не будет нарушено посторонними влияниями. Во второй момент времени телу сообщается второй импульс, равный первому, и этот импульс по закону сложения сил ускоряет его настолько же, насколько он увеличил бы скорость покоящегося тела; другими словами, скорость, сообщенная в первый момент времени, должна во второй момент удвоиться. Продолжая рассуждать таким образом, мы приходим к заключению, что всякая постоянная сила в равные времена увеличивает скорость на

РАВНОМЕРНО-УСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ 57

равную величину, и что, следовательно, *постоянная сила вызывает равномерно-ускоренное движение*. А так как, обратно, из допущения равномерного ускорения мы вправе вывести заключение о постоянстве движущей силы, то гипотеза равномерно-ускоренного падения вполне совмещается с гипотезой постоянной силы тяжести и может быть выведена из последней. Следовательно, исходя из той или другой гипотезы мы получаем для падения тел первый закон: *скорости в каждый момент времени относятся между собою, как времена, протекшие от начала движения*. Прямая опытная проверка этого закона невозможна, так как скорости изменяются с каждым мгновением и не поддаются измерению. Необходимо, следовательно, найти дальнейшие законы для равномерно-ускоренного движения.

Предположим для этой цели, по примеру Галилея, что величина определенного промежутка времени выражена линией AB , и восставим в конечной точке B перпендикуляр, длина которого BC будет обозначать скорость, приобретенную в конце данного промежутка времени. В таком случае всякий перпендикуляр, восставленный из любой точки линии AB до AC , будет выражением скорости, приобретенной, согласно первому закону падения, телом в данной точке. Если, далее, через точку D , лежащую посередине AC , мы проведем линию, параллельную AB , и замкнем линией AF прямоугольник $ABEF$, то понятно, что сумма всех возможных перпендикуляров в треугольнике ABC будет равна сумме всех возможных перпендикуляров в параллелограмме $ABEF$. Но так как эти перпендикуляры представляют собою скорости, то последнее положение может быть выражено еще следующим образом: *сумма всех скоростей, приобретенных свободно падающим телом в течение времени AB , равна сумме всех скоростей равномерно движущегося в течение того же времени тела, скорость которого равна половине конечной скорости падающего тела*. Отсюда Галилей выводит заключение, что оба тела проходят одинаковые пространства, и формулирует второй закон равномерно-ускоренного движения при падении тел следующим образом: *время, за которое падающее тело, считая от начала движения, проходит известный путь, равно времени, в течение которого оно прошло бы тот же путь, двигаясь равномерно со скоростью, равной половине скорости, приобретенной в конце падения*. При равномерном же движении пройденные пути относятся между собой как произведения из времен на скорости; отсюда пути, пройденные падающим телом до двух известных моментов времени, будут относиться между собою как произведения из протекших времен *ни* половины конечных скоростей или, что одно и то же, как произведения из протекших времен на конечные скорости. Но так как, согласно первому закону, скорости сами пропорциональны временам, то отсюда прямо вытекает важнейший из законов падения: *пути, пройденные падающими телами, пропорциональны квадратам времен*.



Черт. 1.

ПАДЕНИЕ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ 59

клоном, всегда равны на одинаковых уровнях над горизонтом, если устранены препятствия. Возьмем два тела, из которых одно снижается по наклонной плоскости, другое же падает с высоты ее отвесно вниз на горизонтальную линию, и сопоставим с ними два других тела,двигающихся равномерно с половинной конечной скоростью первых; окажется, что вторые тела пройдут одинаковые пути в одинаковые времена с первыми. При равномерном же движении пройденные пути, как известно, пропорциональны временам, и наоборот: отсюда вторые, а, следовательно, и первые тела окончат свои движения в периоды времени, относящиеся между собой, как длина наклонной плоскости относится к ее высоте. Так как, далее, при равных временах величина действующей силы измеряется сообщенными скоростями, и наоборот, при равных скоростях силы обратно пропорциональны временам, в которые сообщены скорости, то отсюда следует непосредственно, что *момент тяжести¹ на наклонной плоскости относится к моменту свободной тяжести, как высота наклонной плоскости к ее длине.*

Таким образом Галилей получил возможность полностью объяснить движение тел при падении. Он взял доску в 12 локтей длины и $1\frac{1}{2}$ локтя ширины с желобом шириной в палец, выстланным пергаментом для уменьшения трения. Один конец этой плоскости был приподнят на один или же два локтя вышины, чтобы сделать движение медленным и сопротивление воздуха незначительным. Время измерялось по количеству воды, вытекавшей из большого сосуда в меньший; падающими телами были бронзовые шарики. При помощи опытов с такой наклонной плоскостью Галилей мог проверить и доказать правильность всех законов, выведенных им для движения, и сверх того получил возможность определить пути, пройденные свободно падающими телами, при помощи расстояний, отмеченных на наклонной плоскости, так как его последним исследованием было определено, в каком отношении должно замедляться движение по наклонной плоскости.

При помощи своей теории свободного падения Галилей правильно разрешил старинную проблему наклонной плоскости; но этот способ решения, по-видимому, не удовлетворял его самого. *И действительно, принятие одинаковых скоростей для равных высот падения не представляется строго обязательным*, а привлечение довольно сложных движений маятника не является вполне убедительным. Поэтому Галилей попытался вывести свой закон уменьшения действия силы на наклонной плоскости еще и другим путем.

Бенедетти² в своем сочинении 1587 г. показал, что в косом рычаге моменты тяжести определяются перпендикуляром, опущенным из точки вращения на направление силы. Это правило, по-видимому, вошло в общее употребление при построении составляющих сил, и *Галилей применил этот вид разложения сил к наклонной плоскости.* Он

¹ Моментом Галилей вообще называет величину силы, действующей при данных условиях. В сочинении «*De lia scionza messapica*» он говорит: момент есть стремление опускаться вниз, слагающееся из тяжести, положения тела и других условий, вызывающих такую наклонность.

² Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

60 ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ МАЯТНИКА

показал, что здесь разложение сил соответствует проектированию силы на направление возможного движения. Что же касается отношения, в каком сокращается участок отвесной линии при его проектировании на направление наклонной плоскости, то оно равно отношению длины последней к ее высоте; отсюда вновь вытекает прежний закон отношения моментов свободной тяжести и тяжести на наклонной плоскости. Впрочем, последнее доказательство вряд ли убедительнее первого. Правда, разложение действия силы опирается на *закон параллелограмма сил*, указанный еще Стевином и умело примененный Галилеем; но точного доказательства этого закона мы здесь не находим; он играет у Галилея роль аксиомы или общеизвестного факта и, таким образом, остается в его механике недоказанным элементом, требующим последующего более точного его обоснования.

Мы еще вернемся к этому вопросу при анализе движения падающих тел. Теперь же нам хотелось бы привести здесь немногие галилеевские законы качания маятника. Закон равной продолжительности качания маятников равной длины был им выведен путем непосредственного наблюдения и положен в основу учения о движении в качестве исходного начала. Дальнейшие опыты показали Галилею, что время качания маятников неодинаковой длины изменяется соответственно длине маятников, и его теория свободного падения легко навела его на законы этого изменения. По закону падения, пройденные пути пропорциональны квадратам времен, и обратно, *времена пропорциональны квадратным корням из пройденных путей*. Закон этот верен для всех движений, произведенных одной и той же постоянной силой, следовательно, для отвесного падения и для падения по плоскостям одинакового наклона, равно как для падения по параллельным и подобным дугам. Стало быть, он *верен и для маятников разной длины, имеющих одинаковый угол размаха; время качаний будет и для них пропорционально квадратным корням из описанных ими дуг*. Подобные же дуги прямо пропорциональны своим радиусам, из чего следует (прежде всего, для одинаковых углов размаха, а затем и вообще, так как продолжительность качания не зависит от угла размаха), что *периоды качаний маятников различной длины пропорциональны квадратным корням из их длин*. Этим законом Галилей достиг одного из рубежей своей механики; формулы для непосредственного вычисления времени качания по длине маятника он дать не мог; переход же от простого (математического) маятника к сложному (физическому) ему вовсе не удался. Он полагал даже, что физические маятники не могут быть изохронными, так как они не в состоянии подняться на высоту своего первого размаха. Ибо, если к одной нитке привесить два шарика на разной высоте, то в то время, как нижний еще не успеет окончить своего качания, верхний уже будет находиться на обратном пути и таким образом станет препятствием для достижения первоначальной высоты первым шариком.

Сын Галилея, Винченцо, уверяет ¹, что его отец открыл закон маятника уже в 1583 г. в Пизе и при помощи этого закона определил

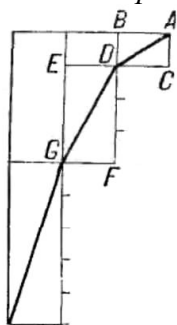
¹ Poggendorff, Geschichte der Physik, стр. 239.

ТРАЕКТОРИЯ БРОШЕННЫХ ТЕЛ 61

высоту собора. Этот же Винченцо устроил, между прочим, первые часы с маятником по мысли и под руководством своего отца. Мы вернемся еще к этому вопросу, когда будем говорить о Гюйгенсе.

Сложение движений было разобрано Галилеем всего полнее и яснее при исследовании линии полета брошенных тел. Предположим, что тело движется в горизонтальном направлении вследствие сообщенного ему толчка; ясно, что если бы на него не влияла сила, тяжести, оно продолжало бы свое горизонтальное движение с равномерной скоростью. Предположим, далее, что в результате этой равномерной скорости тело за известное время пробегает горизонтальное пространство AB , а с другой стороны, представим себе, что за тот же самый период времени сила тяжести должна была отклонить это тело на расстояние AC в отвесном направлении книзу. В таком случае тело под влиянием указанных двух факторов должно будет двигаться по диагонали прямоугольника, определяемого линиями AB и AC , при условии, что избранная единица времени будет настолько мала, что скорость падения может в течение ее измениться лишь на бесконечно малую величину. В следующую за первой единицу времени тело из конечной точки диагонали D вследствие одной горизонтальной скорости продвинется на расстояние $DE=AB$, а от действия силы тяжести отклонится вниз на отвесное расстояние DF , которое будет втрое больше первого расстояния AC ; тело будет, следовательно, перемещаться под влиянием обоих движений по диагонали параллелограмма $DGEF$. Продолжая рассуждать таким образом, мы для линии полета получим кривую, абсциссы которой пропорциональны квадратам ординат. *Следовательно, при горизонтальном бросании линия полета будет полупараболой, ось которой направлена к центру земли.* Для наклонного бросания Галилей определяет линию полета тела тоже как параболу и устанавливает для разных углов бросания таблицу дальности полета. Он оставляет при этом без внимания сопротивление воздуха, но признает, что последнее должно значительно видоизменить линию полета. В одном письме к неизвестному адресату от 12 ноября 1609 г. им показаны даже линии полета при различном наклоне в виде кривых, которые все, достигая одинаковой высоты, опускаются несимметрично и именно в нисходящих ветвях гораздо круче, чем в восходящих, что и соответствует действительности ¹.

Вслед за движением брошенных тел Галилей в приложении к «Discorsi», изданном после его смерти, разобрал также учение об ударе тел. Он находит, что *сила удара зависит от веса и скорости движущегося тела*, определить же точнее природу этой зависимости



Черт. 3.

¹ Для вычерчивания параболы Галилей предлагает два способа: либо катить шар по гладкой наклонной плоскости, причем шар опишет параболу, либо подвесить тонкую цепочку за оба конца, и тогда последняя примет форму параболы. В последнем случае Галилей смешивает параболу с цепной линией.

62 ПРЕДЕЛЫ ГАЛИЛЕЕВОЙ МЕХАНИКИ

он не был в состоянии. Затем он пытается сравнить в разных случаях силы давления и удара, но не может найти опорных точек для их сравнения и признает только, что давление в сравнении с ударом должно быть признано бесконечно малым, так как действие тела складывается из его веса и скорости; скорость же при давлении равна нулю. Отнюдь не следует удивляться, если определение удара Галилею не удастся. При разрешении этих вопросов он уже далеко вышел за пределы своей динамики. Не имея ни предшественников, ни сотрудников, он первый установил точные законы движения; благодаря сделанному им дополнению к закону инерции он правильно определил свойства равномерного движения; его объяснение сложения скоростей привело к точному описанию движения под действием постоянной силы и дало ему возможность полностью разработать теорию равномерно-ускоренного движения. Но выйти за эти пределы, не оставляя пробелов в развитии своих положений, не мог в то время даже гений, подобный Галилею. Во всех случаях, где дело касается сложения нескольких движений, или движений при определенных статических условиях, или, наконец, движений по предписанным путям, он оставляет своим преемникам вполне надежные выводы. Но как мог бы он найти законы удара, где приходится иметь дело с чрезвычайно сложными компенсациями многих движений и с движениями отдельных, различным образом связанных между собою частей тела?

Тем не менее, *Галилей отважился сделать еще один шаг в области молекулярной механики*, и гений этого человека и здесь привел к нескольким положительным результатам.

«Discorsi» разделены на отдельные дни: *законы падения изложены в третьем и четвертом дне*; далее следуют в виде приложения теоремы о центрах тяжести, ранее найденные автором. *Пятый и шестой день прибавлены уже после смерти Галилея*; из них пятый посвящен учению о пропорциях, а шестой — учению об ударе. Динамика является второй из новых наук, обещанных в заглавии книги. Первая же наука рассматривается в *первый и второй день: она представляет собой учение о твердости тел*. Галилей начинает с указания, что механические машины различных размеров, построенные по одному и тому же плану, не соответствуют по своей прочности своим размерам. Это заставляет его изучить *зависимость прочности тел от их размеров и вообще причину твердости тел*. Сцепление в волокнистых телах он объясняет тем, что отдельные волокна сплетаются между собой, как в веревках, и образуют как бы нераздельную массу; к телам же неволокнистым, каковы металлы и камни, такое объяснение не приложимо. Сцепление, с другой стороны, не может обуславливаться присутствием какого-либо клея, потому что последний не выдержал бы высокой температуры. Не находя удовлетворительного объяснения явлению, Галилей вынужден помириться на этот раз со своим исконным противником Аристотелем. По мнению Аристотеля, при разрыве тел между частицами должно хоть на кратчайшее мгновение образоваться пустое пространство, природа же не терпит пустоты и потому противодействует распаданию тел. Галилей допускает такое толкование и развивает его дальше. Крепость тел различна,

ПРОЧНОСТЬ ТЕЛ. HORROR VACUI 63

однако не вследствие различной «боязни пустоты», а вследствие различия пор внутри тел. *Чем больше пустых пространств внутри тела, тем сильнее стремление природы наполнить их веществом, тем крепче тело.* Поры не могут быть большими, иначе в них проникал бы воздух; значит, здесь идет речь о бесконечно большом числе бесконечно малых промежутков, величина и количество которых недоступны нашему измерению.

При помощи этой теории Галилей объясняет многое. Жидкими являются тела, у которых поры заполнены и, следовательно, частицы не сближены между собой силой «боязни пустоты» (*horror vacui*). Когда мы нагреваем тело, тепловое вещество проникает в его поры, и по мере того, как последние заполняются им, тело становится жидким, оно плавится. При охлаждении тела тепловое вещество улетучивается из пор; *horror vacui* вновь стремится заменить их новым веществом, и тело снова делается твердым. Нельзя не заметить, что *horror vacui* у Галилея уклоняется от первоначального аристотелевского понятия: это не безграничное сопротивление природы, но вполне определенная сила, величину которой математик Галилей должен измерить. С этой целью он берет запаянную на одном конце стеклянную трубку, которая с другого конца закрывается подвижным поршнем, и через отверстие последнего наполняет трубку водой; затем закрывает отверстие в поршне и опрокидывает трубку. Груз, способный вытянуть поршень из трубы, а следовательно, образовать в ней пустое пространство, представляет собою величину *honoris vacui* для данной поверхности поршня. Степень боязни пустоты может быть, кроме того, определена водяными насосами. Галилей заметил, что вода во всасывающем насосе не поднимается выше 18 локтей; если трубка насоса выше, то водяной столб разрывается от собственной тяжести,— *horror vacui* имеет, следовательно, величину, способную уравновесить водяной столб в 18 локтей.

Если взглянуть на последние исследования Галилея с теперешней научной точки зрения, они могут показаться непонятными заблуждениями и даже вызвать усмешку, конечно, вполне неуместную. В самом деле, современная нам теория твердости тел основана на молекулярных силах вещества, о которых в то время едва ли кто-нибудь мог помышлять и которые даже для нас не вполне выяснены. Теория сплетения волокон или оклеивания частиц, разумеется, не решала вопроса, а лишь несколько отодвигала его, но по своей удобопонятности, находила приверженцев еще долго после Галилея. Боязнь пустоты — понятие немыслимое для механики; но те пределы, которые для нее установил Галилей, позволяют думать, что он применял старый термин для выражения совершенно определенного проявления силы, не находя для последней никакого вполне удовлетворительного объяснения. Тем более что стоит лишь заменить *horror vacui* давлением воздуха, и объяснение плотности тел последним становится в самом деле заманчивым. Такая теория была в большом ходу, и после Галилея; она могла быть устранена не скоро, даже после появления воздушного насоса.

После этих общих рассуждений Галилей переходит к определению *прочности брусьев*, рассматривая, прежде всего их сопротивление из-

64 О ПЛАВАЮЩИХ ТЕЛАХ

лону. Если брус укреплен одним концом в стене, то его крепость может быть определена по закону рычага. По длине бруса, как на плечо рычага, действует собственная тяжесть наподобие привешенного груза. Она стремится сломать брус, т. е. отделить одно поперечное сечение от другого; но этому противится крепость бруса, и последняя действует на плечо рычага, равное высоте бруса. Невзирая на неполное соответствие этих предположений действительности, — именно, здесь не принято в расчет растяжение и сжатие некоторой части продольных волокон перед изломом, — Галилей выводит из них несколько верных законов. Он доказывает, что крепость, или прочность, возрастает в меньшей степени, чем величина тела; что для всех тел существует предел возможной величины, при которой собственная тяжесть превзойдет их крепость; что полые трубы при одинаковом весе крепче сплошных цилиндров и т. д.

В заключительной главе первой части нашей «Истории физики» было отмечено, что в лице Галилея гармонически сочетались философия, математика и экспериментальное искусство. Из сказанного же до сих пор может показаться, что такого равновесия в действительности не было и что искусство экспериментатора не может выдержать сравнения с другими талантами Галилея, возбуждающими наше удивление. Во всех случаях он стремится дать своим законам философское обоснование и строго математическую форму; такое стремление резко оказывается, например, в учении о свободном падении и в учении о твердости тел. Опытное исследование является у него повсюду как бы средством проверки ранее выведенных законов, а не существенным элементом развития научных положений. В действительности это, однако, не так. Правда, Галилей не был чистым экспериментатором, способным довольствоваться приобретением ценного материала; правда, он считал разработку наблюдений высшей задачей ученого, но достаточным доказательством того, что способность наблюдать была в нем столь же гениальна, как и философско-математическое творчество, могут служить, например, его опыты с маятником и многие замечания относительно твердости тел. Еще убедительнее следующий факт. Мы уже знаем, что в сочинении «*Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua*» Галилей старается найти новые доказательства для архимедовых законов плавания тел. Он представляет себе жидкость, в которую погружено тело, заключенной в сосуде, и затем сравнивает давление погруженного тела с давлением воды, поднимаемой телом. Заключение жидкости в сосуд не упрощает задачи и не дает новых способов для ее решения; но для дальнейшего развития учения оно имело большое значение. Именно, Галилей в целях вышеуказанного сравнения принимает *произведения масс на скорости равными для погруженного тела и для жидкости*, чем впервые дает общее применение закона виртуальных скоростей, хотя и в простейшей его форме. Рядом с защитой Архимеда Галилей особое внимание уделял опровержению Аристотеля в той же области. Последователи Аристотеля ставили плавание тела в непосредственную зависимость от его формы, причем всякое тело могло бы, по их мнению, плавать, если бы ему была придана форма тонких пластинок. Таким образом объясняли

СЦЕПЛЕНИЕ ВОДЯНЫХ ЧАСТИЦ 65

они, например, плавание льда, который в качестве сгущенной воды считали тяжелее самой воды. Галилей прямо опровергает такое воззрение и доказывает, что *плавание тела зависит только от его удельного веса*. Тело, которое плавает в жидкости в какой-нибудь одной форме, будет плавать и при всякой другой, форма влияет только на скорость, с которой тело погружается в данной жидкости или поднимается на ее поверхность. Лед, всегда плавающий на воде, должен быть, поэтому легче воды. Пластинки из вещества, которые по удельному весу тяжелее воды, способны, правда, оставаться на ее поверхности, но при этом условии они не вполне погружены и лежат в углублении водной поверхности, тем более глубоком, чем тяжелее тело. Если же погрузить такие пластинки в глубь воды, то они останутся на дне и кверху уже не поднимутся, между тем как деревянные пластинки будут всплывать при всяких условиях.

Растворением соли в воде можно настолько увеличить удельный вес последней, что лежащий на дне восковой шарик поднимется на ее поверхность. Прибавляя в раствор воды, можно снова уменьшить его удельный вес и заставить восковой шарик опуститься на дно. Эти опыты очень удобны для доказательства зависимости плавания тел от удельного веса; кроме того, из них, по мнению Галилея, можно заключить, что между водяными частицами не существует сцепления, как в твердых телах. Правда, при этом он сам указывает на противоречащий этому положению факт, — на то, что капли воды долго не расплываются ни плоских поверхностях, например на капустных листьях; но замечает, что капли эти расплываются мгновенно, если окружить их другой жидкостью, например красным вином. Отсюда он делает тот вывод, что частицы водяной капли держатся слитно не вследствие внутренней связи, но лишь благодаря сопротивлению окружающего воздуха. Между водой и воздухом, по его мнению, существует вообще какой-то антагонизм. Если стеклянный шар с тонкой узкой шейкой наполнить водой и опрокинуть, то из него не вытекает ни капли воды и в шар не проникает ни единый пузырек воздуха; стоит, однако, погрузить шейку шара в красное вино, которое гораздо тяжелее воздуха и немногим легче воды, как из шара тотчас же начинает вытекать вода, вино же поднимается вверх по шару красными полосками.

Физические работы Галилея, не принадлежащие к области механики, рассеяны в разных его сочинениях, преимущественно в «*Discorsi*» и «*Besedah o двух системах вселенной*». Несмотря на афористическое по форме изложение, они имели огромное влияние на последующих физиков. Много времени после Галилея целое поколение занималось почти исключительно вопросами, уже затронутыми в его сочинениях и частью поставленными им самим, частью же взятыми им от других при обзоре существовавших тогда областей науки.

Галилей занялся, между прочим, старыми *исследованиями о зависимости высоты тона от длины струи*, причем нашел, что высота тона зависит от числа колебаний, производимых звучащим телом в единицу времени; число колебаний в октаве в два раза, в квинте в $\frac{3}{2}$, а в кварте в $\frac{4}{3}$ раза больше числа колебаний основного тона. Благодаря

66 АКУСТИКА. СТОЯЧИЕ ВОЛНЫ. СКОРОСТЬ СВЕТА

этому закону неуловимый физиологический момент высоты тона заменяется математически определенным числом колебаний, и акустика впервые становится доступной физическому исследованию. Считаем нужным заметить по этому поводу, что книга Мерсенна *«Harmonie universelle»*, которая признана первым научным сочинением в этой области, появилась в 1636 г., стало быть, за два года до галилеевских *«Discorsi»*, где изложены его акустические исследования. Нельзя, однако, предполагать, чтобы учитель в данном случае следовал за учеником. Мерсенн находился в постоянном общении с Галилеем и издал его механику во французском переводе задолго до ее появления на итальянском языке. Отсюда мы в праве видеть в указанном порядке выхода в свет обоих сочинений доказательство, что работы Галилея задолго до их появления в печати были известны Мерсенну; дальнейшим доказательством может служить и то, что исследование колебаний струн у Мерсенна гораздо полнее и носит характер подробной разработки закона, установленного Галилеем. Последний нашел, между прочим, интересное подтверждение своего *закона численных отношений тонов* благодаря простому случаю. Именно, очищая медную пластинку железным рашпилем, он по временам слышал резкие тоны и при этом каждый раз замечал на пластинке параллельные царапины. Точные измерения последних показали ему, что расстояния между ними для различных звуковых интервалов представляют всем известные гармонические отношения. Он проделал ряд аналогичных весьма интересных опытов над звучащими стаканами и нашел, что в стакане, до половины наполненном водой, который он заставлял звучать ударами пальца, образуются концентрические, кругообразные возвышения и углубления; круги эти не изменялись, пока он извлекал один и тот же тон, но удваивались, когда тон случайно переходил в октаву. *Здесь Галилей впервые наблюдал стоячие волны:* но, разумеется, он не мог назвать их этим именем и придать явлению, которое ему первому удалось наблюдать, должного значения. *Физиологическая сторона акустики* тоже не была оставлена им без внимания. По его мнению, наш слух воспринимает легко сочетание тонов, имеющих простые числовые отношения колебаний; звуки же со сложными отношениями тяготят ухо. В этом факте он ищет причину созвучий и диссонансов.

Оптических исследований, несмотря на гениальное применение им зрительной трубы, мы у Галилея почти не находим, так как рассеянные заметки его о выпуклых зеркалах не имеют большого значения. Замечательно только, что *Галилей считает скорость распространения света конечной*. Впрочем, его предложение измерить эту скорость при помощи световых сигналов из пункта наблюдения, расположенных приблизительно в трех итальянских милях друг от друга, свидетельствует о том, что он не имел правильного представления об этом предмете.

Большее значение имеют работы Галилея по *магнетизму*, при которых он пользовался указанным ниже сочинением Гильберта. Он *объясняет усиление действия естественного магнита при наличии арматуры*, причем обращает внимание на то, что якорь может соприка-

МАГНЕТИЗМ. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ ГАЛИЛЕЯ 67

саться с арматурой в гораздо большем числе точек и гораздо плотнее, чем с самим магнитом. Он указывает на магнит (в беседах о системах вселенной) как например тел, имеющих одновременно несколько движений, а именно, прямо к земле (при падении), и в направлении магнитного склонения и наклонения; свободный магнит, по его мнению, был бы, пожалуй, способен и к вращению около оси. Это странное мнение высказывалось в то время многими для объяснения вращения планет. По свидетельству Кастелли (его ученика) Галилей занимался с успехом изготовлением искусственных магнитов и однажды получил магнит, способный при собственном весе в 6 унций поднимать 15 фунтов.

Первый период научной деятельности Галилея был, как мы уже говорили, почти исключительно посвящен физике; и борьба, которую он вел с натурфилософией и главным образом теориями Аристотеля, происходила на почве физики. Но и в области астрономии он успел уже в это время оставить старую точку зрения. В 1597 г. в письме к Кеплеру, приславшему ему свой «*Prodromus*», Галилей сообщает, что разработал много доводов в пользу коперниковой системы и в опровержение существующих против нее возражений, но пока не решается их публиковать ввиду насмешек и гонений, которыми осыпают творца этой системы. Но когда в 1604 г. в созвездии Змееносца появилась новая звезда, он воспользовался случаем поколебать одну из главнейших опор птолемеевой системы мира, именно учение Аристотеля о неизблемости и неизменяемости небосвода. Звезда эта была видна не более 18 месяцев; одни принимали ее за световое явление в низших областях неба, другие — за давнишнее светило, ускользавшее до сих пор от внимания. Галилей утверждал, что это настоящая звезда, никем до того не виданная, лежащая далеко за сферой планет, относительно которых даже (перипатетики допускали некоторые неправильности. Перипатетики реагировали на это нападение еще живее, чем на опровержение аристотелевского закона падения тел. Лекциями Галилея о новой звезде начинаются его первые споры с *Капррой* (Capra) и двумя профессорами перипатетиками *Кремонино* и *Коломбо*.

Знаменитый лейб-медик английской королевы Елизаветы, *ВИЛЬЯМ ГИЛЬБЕРТ* (1540—1603) был первым ученым, написавшим вполне научное сочинение о магните. Он первый создал полную теорию магнитных явлений и таким образом включил учение о магнетизме в число физических дисциплин. До сих пор, по справедливому замечанию самого Гильберта, к притяжению магнита и янтаря прибегали лишь в тех случаях, «когда мысль наша блуждала во тьме праздных умозрений и разум не мог найти выхода». Сочинение Гильберта, появившееся на закате его дней под заглавием: «*De magnete, magnetisque corporibus et de magno magnete tellure physiologia nova*» (Лондон, 1600), по самой форме уже отличается от всех физических трактатов XVI в. В нем нет и следа общепринятой перипатетической натурфилософии, презрения к непосредственному наблюдению природы и преклонения перед авторитетами; напротив, оно всецело опирается на опытное исследование и свидетельствует о необыкновенном искусстве автора в приложении экспериментального метода к изучению совершенно новых естественных явлений. *Гильберт* — физик нового направления; в своей

68 ЗЕМЛЯ КАК МАГНИТ. ИСКУССТВЕННЫЕ МАГНИТЫ

более узкой сфере он соперничает с Галилеем и не уступает ему в экспериментальном искусстве, хотя и не может сравниться с ним по гениальности истолкования добытых результатов.

Мы уже знаем, что англичанин Норман¹ перенес точку притяжения магнита с неба, куда ее помещали прежде, во внутренность земли. Гильберт пошел дальше: он принимает всю землю за магнит и в подтверждение своей мысли доказывает, что намагниченный железный шар действует на магнитную стрелку совершенно так же, как земля. Он предполагает, что *астрономические полюсы совпадают с магнитными*, но при этом отклонение магнитного меридиана от астрономического он объясняет тем, что вода не обладает магнитным притяжением и что указанное отклонение происходит вследствие неравномерного распределения суши.

По этой теории выходит, что отклонение стрелки в открытом океане, на равном расстоянии от берегов, должно быть равно нулю, и Гильберт, естественно, придерживался такого мнения. Но впоследствии, когда у берегов Бразилии было замечено отклонение стрелки не в сторону земли, а в противоположную сторону, и еще более, после того, как стала известна изменчивость отклонения стрелки в одних и тех же местах, теория совпадения астрономических и магнитных полюсов была оставлена. Вместе с тем Гильберту пришлось отказаться от одного проекта, основанного на этой теории. С тех пор, как началось плавание по открытому океану, все сильнее и сильнее чувствовалась потребность обладать верным и простым средством для определения географических широт. На материке для этой цели руководились наибольшей и наименьшей высотой солнца в данном месте, а Тихо впервые стал пользоваться двумя высотами полярной звезды в меридиане. Но эти способы не могли служить для определения географической широты на море; поэтому Гильберт предложил определить географическую широту по наклонению магнитной стрелки.

Уже со времени Порты² было известно, что, проводя магнитом по куску стали, можно последнюю превратить в магнит. Гильберт же, в соответствии со своей теорией, показал, что *сталь может намагнититься и вследствие влияния земли*. Он заметил, что железные проволоки намагничиваются, если они протянуты в направлении с севера на юг, и даже если просто лежат некоторое время в направлении магнитного меридиана; кроме того, он еще точнее установил, что в железном бруске, который лежит в направлении стрелки инклинатора, магнитные свойства оказываются сильнее, чем при вертикальном или горизонтальном положении.

Помимо теории земного магнетизма, у Гильберта встречается *много новых специальных познаний, касающихся естественных и искусственных магнитов*. Он первый стал при своих опытах *подвешивать магнитную иглу на нитке*. Он же нашел, что магнит притягивает чистое железо сильнее, чем железную руду, и предотвратил ослабление магнита, и даже увеличил его силу, погружая магнит в же-

¹ Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

² Там же

МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛ 69

лезные опилки или же прикладывая к нему железный брусок или второй магнит (первые следы якоря). Действие естественных магнитов он первый усилил *арматурой*, состоявшей из широкой стальной ленты, охватывающей магнит и проходящей через оба полюса. Мнение Порты (который полагал, что магнит притягивает только у своих полюсов) пришлось видоизменить, так как из опытов Гильберта выяснилось, что *магнит притягивает во всех точках своей поверхности и что у полюсов эта сила является наибольшей*. Полюсы же он определял при помощи маленькой стальной иголки, которой проводили вдоль магнита и которая принимала вертикальное положение у полюсов. Далее, Гильберт показал, что магнит, разбитый на куски, образует множество мелких магнитов, что два магнита или магнит и кусок железа, плавающие на воде в легких челноках, приближаются друг к другу с одинаковой скоростью; что сильный магнит способен переменить полюса у более слабого; что сильный магнит способен действовать сквозь железо и другие тела и что сквозь железную проволоку он притягивает с большего расстояния, нежели просто через воздух. Невзирая на все это, у *Гильберта нет еще ясного представления о магнитной индукции* и точных сведений о различии между мягким и твердым железом по отношению к магниту, хотя он и предписывает брать для намагничивания иголки из лучшей стали. Для образования искусственных магнитных игл посредством натирания кусков стали магнитом он предписывает те же правила, как и Порты, но советует держать при этом иглу на север и — странным образом — предостерегает от повторного натирания, так как при этом полюсы будто бы изменяются. По всей вероятности, он при своих опытах водил магнитом взад и вперед, не отнимая от намагничиваемой стали.

Исследования магнетизма привели Гильберта и к *электрическим явлениям*. До него знали только, что *янтарь* и неизвестный нам *линкурион* при трении способны притягивать легкие тела; он первый стал исследовать, не обладают ли тем же свойством и другие вещества, и сделался, таким образом, в еще более строгом смысле, родоначальником новой отрасли физики. Такое притяжение он признал вначале за новую особую силу природы и назвал ее (по греческому названию янтаря $\eta\lambda\epsilon\chi\tau\rho\nu$) *электрической силой*. Существительного же слова «электричество», равно как и слова «магнетизм» у него нигде не встречается.

Наряду с янтарем Гильберт перечисляет множество тел, приобретающих электрические свойства от трения. Таковы: алмаз, сапфир, аметист, опал, горный хрусталь, все виды стекла, большинство сланцев; далее, сера, смолы, каменная соль, тальк, горные квасцы и еще некоторые другие. *Неспособными электризоваться* он признает: смарагд, агат, жемчуг, халцедон, (алебастр, мрамор, кости, слоновую кость и, наконец, металлы. Наэлектризованные вещества притягивают почти все твердые тела; лишь очень тонкие тела, как, например, все раскаленные вещества и пламя противостоят притяжению. *Сухой воздух, северный и восточный ветер благоприятны процессу электризации*; на солнце натертые тела сохраняют электрические свойства в течение 10 минут. *Напротив, влажность, выдыхаемый воздух, опрыскивание*

70 ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. СОЧИНЕНИЕ «De mundo»

спиртом и водой чрезвычайно ослабляют электрическую силу в телах; опрыскивание оливковым маслом не имеет влияния.

Таковы сведения Гильберта касательно электрических сил. Мы видим, что они не идут далее притяжения натертых тел: *свойство отталкивания было ему еще не известно.* Нельзя удивляться, что на такой низкой ступени знания *Гильберт не видит сходства между магнетизмом и электричеством и останавливается преимущественно на различии между ними.* Различия он находит в следующем: 1) электричество происходит только от трения; в магните притягательная сила представляет естественное и постоянное свойство тела; 2) электричество уничтожается от влажности; магнит продолжает действовать даже сквозь твердые тела; 3) магнит притягивает лишь немногие тела; электричество действует почти на все вещества; 4) магнит поднимает тела значительной тяжести; электричество — одни лишь легкие тела; 5) при электрическом притяжении действует только наэлектризованное тело и движется только притягиваемое тело; при магнитном — движутся оба тела. Отсюда вполне естественно со стороны Гильберта принимать совершенно различное происхождение для обеих сил. *Магнетизм он признает особой силой, присущей телу с самого начала, и приписывает ей чрезвычайно широкое поле действия. Электрическое притяжение он объясняет, подобно старым физикам, истечениями, выжимаемыми из тел при трении.* Тела, не проявляющие электрических свойств, имеют вследствие своей земной природы слишком грубые истечения. Последние не могут проходить сквозь тела, подлежащие притяжению, и насколько эти тела втягиваются в образовавшиеся пустые пространства, настолько же они вновь вытесняются грубыми истечениями.

Остается упомянуть еще об одном посмертном сочинении Гильберта, именно «*De mundo nostro sublunari philosophia nova*» (Амстердам, 1651). В нем он прямо восстает *против все еще господствующей философии Аристотеля.* Подобно Кардану, он опровергает учение об аристотелевских элементах и исключает из их числа, прежде всего огонь на том основании, что огненное вещество никогда не выделяется из тел. *Огонь — это только высшая степень теплоты; теплота же есть действие (actus) тончайшей жидкости, как бы тонкого материального эфира.* Гильберт, однако, не склоняется на сторону атомистики; напротив, он допускает непрерывность вещества в телах и не принимает теории их возникновения путем простого смешения и разделения. Поэтому он не относится враждебно к теории превращения элементов и допускает переход воздуха в воду, хотя и не без посредствующих ступеней¹. С другой стороны, он по примеру атомистов признает существование пустого пространства; истечения из земли, а, следовательно, и атмосфера последней, не простираются далее немногих миль над ее поверхностью; отсюда до луны, а также между светилами находится пустое пространство; в противном случае небесные тела не могли бы свободно двигаться, и свет не мог бы распространяться мгновенно

¹ Более подробное изложение учения об элементах в течение разбираемого и предыдущего периода развития физики можно найти у Лассвица (*Lasswitz, Programm der Gymnasium zu Gotha, 1882* и его же «*Geschichte der Atomistik*», 2 тома).

ОПТИКА КЕПЛЕРА. ЦВЕТА 71

от них к нам. *Гильберт* — сторонник *Коперника* и разделяет, между прочим, его представление о силе тяжести. *Тяжесть* есть влечение одного тела к другому, частей к целому, осколков к своему шару, но не представляет собой влечения к определенной точке пространства, как полагают последователи *Аристотеля*. *Абсолютно легких тел нет*, и движение легких тел является следствием импульса, сообщенного окружающими более плотными телами. *Рядом с тяжестью*, действующей между частями одной планеты, *существует другая магнитная сила, распространяющаяся гораздо дальше и действующая между небесными светилами*. «Сила, истекающая из луны, достигает до земли, и подобным же образом магнитная сила земли пробегает все небесное пространство до луны; обе силы складываются при встрече и сочетаются в определенных отношениях. Действие земли, однако, гораздо значительнее вследствие ее большой массы. Земля притягивает луну и снова отталкивает ее от себя; то же делает в свою очередь луна с землей в определенных границах. Взаимодействие, однако, не сближает тел наподобие магнитных сил, а лишь заставляет их непрерывно вращаться одно около другого».

Представление о магнитной силе, действующей между небесными телами и вызывающей взаимное их притяжение и отталкивание, очевидно, возникло с целью объяснить постоянное движение спутника по одному и тому же пути, необъяснимое при тогдашних механических познаниях. Подобные действия со стороны громадного магнита, каким представляли себе землю, казались вполне естественными и побуждали многих искать связи между магнетизмом и движением небесных тел. *Для позднейшей небесной механики эти теории имели некоторое значение, подготовив почву для представления о действии на расстоянии, actio in distans*.

Блестящее тройное созвездие гениальных физиков озаряет начало XVII столетия. К именам *Галилея* и *Гильберта* присоединяется имя *КЕПЛЕРА*, единственного достойного представителя немецкой науки того времени. Заинтересованный исследованиями *Тихо де-Браге*¹ над астрономической рефракцией, *Кеплер* тоже занялся этим явлением и — как во многих других отношениях — ассистент и здесь пошел дальше знаменитого придворного астронома. *Кеплер не ограничился изучением одного этого оптического явления, а распространил свои исследования на всю данную область* — с тем, чтобы на основании исследования общих оптических явлений судить об особенностях астрономической рефракции. Для этой цели он избрал сочинение *Вителлона*², написанное в XIII в., и издал свои исследования в виде приложения к нему под заглавием: «*Ad Vitellonem Paratipomena quibus astronomiae pars optica traditur*» (Франкфурт на Майне, 1604).

В первой главе этой книги рассматривается природа света и цветов. За отсутствием в прошлом исследований настоящих физиков, *Кеплер* вынужден здесь оставаться в пределах перипатетической натурфилософии. Происхождение цветов он объясняет, по примеру *Аристотеля*³,

¹ Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

² Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел второй.

³ Ч. I, Ист. физики в древности, отдел первый.

72 КЕПЛЕРОВ ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

смещением света и темноты; цвет есть возможный свет, или свет, скрытый в материи, т. е. свет, более или менее затемненный различными веществами. *Вторая глава посвящена исследованию круглой формы пятен от солнечного света, проникающего сквозь малое отверстие в темную комнату.* Не упоминая Мавролика, сочинения которого были, по-видимому, ему неизвестны, Кеплер объясняет это явление совершенно так же ¹, хотя и употребляет для доказательства громадный геометрический аппарат. Интересно описание пути, которым он пришел к своему объяснению: «Я поместил на довольно значительном возвышении книгу, которая должна была изображать светящееся тело. Между этой книгой и стеной я поместил доску с многоугольным отверстием. Затем к одному углу книги прикрепил нитку, продел ее сквозь отверстие и, обводя вдоль границ последнего, начертил другим концом при помощи мела соответствующую фигуру на стене. Она оказалась вполне сходной с фигурой самого отверстия. То же получилось и от ниток, прикрепленных ко второму, третьему, четвертому углу и к другим местам книги. Из всех этих фигур образовалась, наконец, одна, которая имела тем большее сходство с очертанием книги, чем дальше находилась стена от отверстия». *Третья глава заключает в себе исследования о местах изображения, получаемых от зеркал.* Кеплер обращает здесь особое внимание на то обстоятельство, что мы смотрим двумя глазами, производя отсюда наше суждение о расстоянии, по крайней мере, в тех случаях, где расстояние между глазами не бесконечно мало в сравнении с расстоянием от предмета. *Четвертая глава посвящена вопросу о преломлении света.* Вопреки доводам Альгазена ², прежние оптики, не исключая самого Мавролика, допускали пропорциональность углов падения и преломления луча для одних и тех же сред. Кеплер измерил эти углы для воздуха и стекла при разных углах падения и нашел, что только для углов падения менее 30° отношение между ними и углами преломления ³ равно 3:1, как определил уже Птолемей ⁴; для больших же углов падения угол преломления оказывается больше, чем должен быть по указанному отношению. Поэтому *Кеплер делит угол преломления на две части, из которых одна пропорциональна углу падения, а другая пропорциональна секансу угла падения.* Мы знаем теперь, что это предположение неверно, но для дальнейших вычислений Кеплера было достаточно и этого приближения к истине. Причину различия преломления в разных средах он искал в различной плотности веществ, но в скором времени узнал от англичанина *Гарриота* (1560—1621), что между плотностью и преломляющей силой нет определенной связи. Гарриот прислал ему в письме в виде доказательства таблицы преломления света в различных средах. Тем не менее, этот вопрос продолжал занимать ученых, и даже Декарт в письме к Мерсенну отмечает, что хотя скипидар легче воды, но обладает большей преломляемостью.

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел первый.

³ Под углом преломления здесь всегда понимается угол, образуемый продолжением падающего луча с преломленным, т. е. угол отклонения.

⁴ Ч. I, Ист. физики в древности, отдел второй.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ РЕФРАКЦИЯ. УСТРОЙСТВО ГЛАЗА 73

Говоря о работах Тихо, мы упомянули, что он допускал изменение рефракции по мере удаления светил от земли. Такой взгляд объяснялся общепринятым в то время мнением, будто воздух распространяется до самых звезд, вследствие чего лучи от более далеких светил должны были претерпевать большее преломление. Гессенский астроном Ротман допускал существование преломления только на горизонте и вступил в спор с Тихо, который считал рефракцию еще весьма значительной до высоты в 45° . Кеплер был убежден, что *преломление простирается до зенита*, и утверждал, наперекор Тихо, что на одинаковой высоте оно должно быть равным для всех светил, так как высота атмосферы незначительна и ни в коем случае не простирается до звезд. При этом он вычислил на основании астрономической рефракции высоту атмосферы, которая получалась у него равной всего лишь 0,48 миль, так как он принял, что атмосфера имеет равномерную плотность на всем своем протяжении и резко ограничена сверху. Красноватый свет, испускаемый луной при полных лунных затмениях, Кеплер впервые верно объясняет преломлением света в земной атмосфере.

В «*Paralipomena*», содержащих вообще много неверных данных и утомительных длиннот, по странной случайности всего *яснее та часть, которая посвящена процессу зрения и устройству глаза*, а именно пятая глава. Кеплер описывает сначала анатомическое строение глаза (по Иессениусу и Платтеру), затем переходит к происхождению изображения в глазу. *Конусы лучей, исходящие из точек предмета и имеющие общим основанием зрачок, преломляются хрусталиком так, что позади него снова образуют конусы, вершины которых лежат на сетчатой оболочке глаза и здесь дают изображения светящегося предмета*. Изображение бывает обратным, так как оси конусов пересекаются в хрусталике. Сетчатка же ощущает направление, по которому шли лучи, и потому для сознания не может быть сомнения, что нижняя часть изображения соответствует верхней части предмета, и наоборот. Кеплер предполагает, что по снятии прочих оболочек на задней части глаза должно быть видно изображение на сетчатке, но сам этих опытов не производил. *Аккомодацию* глаза к близким и далеким предметам Кеплер объясняет сжатием и расширением хрусталика, или приближением сетчатой оболочки к хрусталику, или обеими причинами вместе. *Близорукость и дальновзоркость* он поэтому, подобно Мавролику, относит на счет неправильной кривизны хрусталика. *Иррадиацию* он также пробует объяснить по своей теории, именно: он обращает внимание на то, что в близоруком глазе от всякой точки светящегося предмета получается на сетчатке световой кружок, вследствие чего предмет представляется с расплывшимися краями и несколько увеличенным; по отношению к очень далеким светящимся предметам, каковы, например, звезды, мы все находимся в состоянии близорукости. Невзирая на многие ошибки, трактат Кеплера резко отличается по духу от обычных оптических сочинений XVI в. *Такого ясного анализа хода световых лучей, даже при их прохождении через преломляющие среды, такого успешного изучения сложных оптических явлений* мы не встречаем даже у Мавролика, который по общим своим чертам выдающегося математика наиболее приближается к Кеплеру.

Кеплеровская теория зре-

74 ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

ния долгое время оставалась образцовой, а его приближение к закону преломления дало в скором времени первые плоды, именно в приложении ко вновь изобретенному оптическому инструменту — зрительной трубе. ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ, наряду с изобретением паровой машины, — самые спорные предметы в истории физики. Мало того, что указывают на признаки этого открытия чуть не за 1000 лет до его обнаружения и постоянно выступают новые лица с новыми доказательствами еще большей древности трубы, но даже для того времени, когда зрительная труба была в действительности открыта, приходится выбирать между несколькими претендентами на первенство. В первой части нашей книги были названы физики, которые подготовили это изобретение, именно Роджер Бэкон и Порте¹. Заявления, из которых пришлось бы заключить, что, пожалуй, уже Моисей рассматривал обетованную землю с горы Небо в зрительную трубу, мы, разумеется, оставим в стороне. В таком случае перед нами откроется период времени между 1590—1610 гг. и выбор между тремя голландскими оптиками: Захарием Янсенем, Яковом Меццусом и Гансом Липперсгейем (Липперсгейм, также Lereu?). Неудивительно, что выбор затруднителен теперь после 2³/₄ веков, если даже современники изобретения не знали, кому отдать первенство. Рудольф Вольф² приводит по этому поводу любопытную выписку из рукописи патера Шейнера от 1616 г.: «Если иметь в виду действие зрительной трубы, то нужно согласиться, во-первых, что честь открытия будет справедливо приписать Баптисту Порте, потому что он, хотя и в темных выражениях и загадочных словах, «первый описал прибор, соответствующий зрительной трубе. Во-вторых, если рассмотреть зрительную трубу со стороны ее устройства в том виде, как она вошла теперь в употребление, после постепенных усовершенствований, мы убеждаемся, что изобретателем ее нельзя признать ни вышеупомянутого Порте ни Галилея, так как в этом смысле зрительная труба была изобретена в Германии и Бельгии, и притом случайно, продавцом очков, который для забавы или для других целей складывал вместе выпуклые и вогнутые стекла и дошел, наконец, до сочетания, позволяющего видеть далекие предметы как бы вблизи и в увеличенном виде. Этот результат так обрадовал оптика, что он вставил несколько пар таких стекол в трубки и стал продавать их знатым людям за большие деньги. Таким путем зрительные трубки распространились мало-помалу между его соотечественниками и сделались известными и в других странах». Эти строки Шейнера интересны во многих отношениях, но для нас они не имеют значения. Добрый патер, не обинуясь, приписывает Порте изобретение зрительной трубы на том только основании, что он, «хотя и в темных выражениях», описал такой прибор. Нам известно, насколько темны были эти выражения; но мы знаем, кроме того, что в наше время не признают изобретателем того, кто смутно указал на возможность какой-нибудь вещи, а лишь того, кто впервые осуществил ее. Далее Шейнер хотя и указывает на то, что зрительные трубы, крайне несовершенные

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отделы второй и третий.

² Widemann, Ann. d. Phys. u. Chem., стр. 478 — 480.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ 75

вначале, мало-помалу достигли настоящего вида, но как произошло это усовершенствование и благодаря кому, он не объясняет. Наконец, столь обстоятельный в других отношениях патер довольствуется сообщением, что изобретателем был какой-то продавец очков, не давая ни малейшего указания на личность или имя продавца, между тем, именно о личности торговца и о точном времени изобретения шел спор. Можно надеяться, что теперь этот спор окончательно разрешен в пользу некоего продавца.

Французский врач *Пьер Борель* в 1655 г. издал в свет книгу «*De vero telescopii inventore*», где поместил засвидетельствованные судебным порядком документы из г. Миддельбурга в Голландии, а также письмо миддельбургского уроженца, голландского посланника Вильгельма Бореля (Vogel), из которых можно заключить, что оптик Захарий Янсен из Миддельбурга первый изобрел зрительную трубку, а Липперсгейм и Мециус начали делать такие же трубы после него и, быть может, по его образцу. Именно, Иоганн Янсен свидетельствует, что отец его, Захарий Янсен, изобрел в 1590 г. микроскопы и короткие зрительные трубки, а в 1618 г. — длинную зрительную трубу, тогда как Мециус устроил свою зрительную трубу в 1620 г. по образцу янсеновской. Сестра И. Янсена, Сарра Гедард, тоже засвидетельствовала, что ее отец изобрел зрительную трубу, но не была в состоянии указать в точности даты и относила изобретение к 1611 или 1613 г. Наконец, Вильгельм Борель сообщает, что, будучи мальчиком, играл с Иоганном Янсеном и от него не раз слышал, что отец его изобрел микроскоп в 1590 г., а в 1610 г. при участии своего сына Иоганна — длинную зрительную трубу. Такая труба была передана принцу Морицу Нассаусскому, и хотя насчет этого изобретения старались сохранить глубокую тайну, слухи о нем все-таки проникли в публику. Вследствие этого какой-то неизвестный, всячески добивавшийся получения подобного инструмента, попал в своих поисках не к действительному изобретателю, а к жившему поблизости Лапрею (Липперсгейму). Расспросы незнакомца возбудили любопытство оптика, и он мало-помалу дошел до устройства такой же зрительной трубы. Адриан Мециус и Корнелий Дреббель тоже научились делать зрительные трубы от З. Янсена в 1620 г. Показания Иоганна Янсена и Вильгельма Бореля вполне тождественны относительно изобретения микроскопа, и так как против них не нашлось возражений, то мы в первой части книги приписали это изобретение З. Янсону и — правда, с некоторым колебанием¹ отнесли его к 1590 г. По отношению же к зрительной трубе такого согласия в показаниях нет — документы содержат явно много противоречий, не говоря уже о том, что все они исходят от малообразованных миддельбургских обывателей. Так, один из свидетелей приписывает изобретение Янсону, а другой — Липперсгейму².

¹ Ч. I, Ист. средневеков. физики, отдел третий.

² Показания И. Янсена противоречат, как мы сейчас увидим, в отношении заслуг Липперсгейма и Мециуса, официальным, доныне сохранившимся, документам. Это возбуждает недоверие к нему вообще и наводит на подозрение, что И. Янсен умышленно отнес изобретение на несколько лет назад и приписал своему отцу то, что не было самостоятельным его открытием

76 ИЗОБРЕТЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

При таких данных мы едва ли могли бы придти к решению вопроса, если бы новые исследования не осветили его надлежащим образом. Новые данные помещены в сочинении *«Geschiedkundig Onderzoek naar de eerste Uitfinders der Verkykers uit de Aantekeningen van wyle den Hoogelaar van Swinden zamengesteld door G. Moll»* (Амстердам, 1831) Главным источником собранных Свинденом фактов был, как видно из заглавия, Гаагский архив. Мы узнаем в этой книге, что некий Адриан Антонизсон, бургомистр Алькмарский и крепостной инженер штатов, имел 4 сыновей, из коих двое приобрели большую известность. Один из них Адриан за свое прилежание к математике получил в университете прозвание Мециуса (которое присвоила себе потом вся его семья) и нашел знаменитую дробь $355/113$ для отношения длины окружности к диаметру. Другой сын, Яков Антонизсон, или Яков Мециус, был чудаком, нелюдимый и малоспособный к учению; он перенял от одного оптика искусство шлифовать стекла и делал много зажигательных зеркал и зажигательных стекол. Он-то 17 октября 1608 г. подал правительству штатов прошение такого содержания: *«Два года тому назад упорным трудом и размышлением он дошел до изобретения инструмента, при помощи которого можно вполне ясно видеть далекие предметы, не различаемые вовсе или смутно различаемые простыми глазами. Прилагаемый пробный экземпляр изготовлен из плохого материала; но по заключению его превосходительства и других лиц, имевших случаи сравнивать оба инструмента, он в смысле действия ни в чем не уступает изготовленному в недавнее время миддельбургским гражданином У. Э. Д. М.»*. Он просит правительство воспретить на 22-летний срок продажу и покупку всем, кто не сделал этого открытия раньше и не обнародовал его. Просителю предложили усовершенствовать свой прибор, после чего может быть вынесено решение насчет запрещения. Чудаком Мециус после этого уже не заявил о себе, миддельбургский же гражданин, предупредивший его, был *Липперсгей*. 2 октября 1608 г. *Ганс Липперсгей* (родом из Везеля, шлифовальщик очков в Миддельбурге) успел уже подать штатам прошение о том, *«чтобы ему за изобретенный им инструмент для смотрения вдаль была дана привилегия на 30 лет и вместе с тем годовая пенсия под условием изготовлять такие приборы исключительно в пользу государства»*. Генеральные штаты назначили комиссию для рассмотрения этого дела; затем вели переговоры с изобретателем, и, наконец, 13 февраля 1609 г. было отмечено, что Липперсгей представил два инструмента (для смотрения обоими глазами, как от него требовали) и что правительство определило выдать ему желаемое вознаграждение. В привилегии же ему было отказано, так как другие лица уже были знакомы с этим прибором¹. Последнее замечание относится, по всей вероятности,

или же было сделано им позже других. Липперсгейм умер в 1619 г., Мециус — между 1624—1631 гг. Оба эти лица, стало быть, не могли возражать против показаний, данных в 1655 г. Посланник же Борель, беспристрастие которого мы не имеем права заподозрить, рассказывает о давно прошедшем и только на основании слухов, поэтому его мнение не может быть решающим.

¹ Сведения эти заимствованы главным образом от Нюренбергера (*Nürnbergger, Astr. Handwörterbuch*, статья *Fernrohr*).

БЫСТРОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ 77

к Якову Мециусу; во всяком случае, имя Янсена не упоминается в этом делопроизводстве. На основании приведенных документов *первым конструктором зрительных труб следует признать Ганса Липперсгея*. Мы склонны видеть в нем и первого их изобретателя, так как равноправного конкурента у него не оказывается. Первые зрительные трубки состояли, как всем известно, только из двух стекол, выпуклого и вогнутого; они допускали незначительное увеличение, но зато давали прямые изображения и были удобны по небольшому своему размеру. Такие *голландские*, или *галилеевские*, зрительные трубки в показаниях Янсена и Бореля называются «короткими». Об изобретении длинных, так называемых *кеплеровских*, или астрономических, труб будет речь впереди.

Быстрое распространение зрительных труб, начиная с 1608 г., может служить вернейшим показателем того, что изобретение было сделано именно около этого времени. Зрительная труба не принадлежит к числу тех инструментов, которые люди научаются ценить только после продолжительной работы с ними. Обозревать даль, приобрести для своих глаз господство хоть над небольшим излишком пространства — слишком заманчивая вещь, чтобы инструмент, даже самый несовершенный, который удовлетворял бы этому стремлению человека, не пошел в ход исполинскими шагами. Вот почему мы оставляем в стороне указания, будто Цезарь или Птолемей употребляли зрительные трубки, и отказываемся принимать темные выражения Порты и других за указание на их знакомство со зрительной трубой.

Генеральные штаты желали сохранить в тайне изобретение, имевшее в их глазах большую ценность, но напрасно. Уже 28 декабря 1608 г. *французский посол в Гааге президент Жанен* писал королю Генриху IV и его министру Сюлли об этом инструменте. Он пробовал приобрести его тайком у миддельбургского оптика, но тот не согласился, ссылаясь на свое обещание не продавать ни одного экземпляра без ведома правительства; впрочем, штатами уже заказаны две трубы для его величества и Сюлли. Еще раньше, по-видимому, проникли зрительные трубки в *Германию*. В письме от 1614 г. *Симон Мариус* (Мауер), математик маркграфа Бранденбургского, сообщает, что на осенней ярмарке 1608 г. во Франкфурте на Майне один купец рассказывал приятелю Мариусу Фуксу фон Бимбаху, что в город приехал бельгиец, изобретший инструмент, при помощи которого можно ясно видеть отдаленные предметы. Фукс просил показать ему этот инструмент, причем, несмотря на трещину в одном из стекол, предметы действительно оказались увеличенными в несколько раз. Фукс хотел, было купить замечательную новинку, но торг не состоялся, потому что купец запросил слишком дорогую цену. Затем приятель отправился в Аншпах к Мариусу, и здесь они вместе попробовали соединить выпуклые и вогнутые стекла и добились некоторого увеличения, хотя вполне цели своей не достигли вследствие слишком большой вогнутости одного из стекол. Они выписали себе из Нюрнберга другие стекла; однако дело почему-то затянулось до лета 1609 г., когда им была прислана превосходная зрительная трубка из Бельгии. *Италия* познакомилась с новым изобретением, по-видимому, только в 1609 г. Милан-

78 ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

ский ученый *Иероним Сиртурус* сообщает ¹, что в мае 1609 г. прибыл в Милан француз, выдававший себя перед графом Фуэнтес за изобретателя зрительной трубки; но так как в городе не нашлось хороших стекол, то француз уехал в Венецию. Кардиналу *Боргезе* около того же времени была прислана зрительная трубка из Нидерландов.

Первый непосредственный успех нового инструмента объясняется удовольствием, доставляемым приближением к глазу далеких предметов. Польза зрительной трубки ограничивалась, по-видимому, для самого изобретателя военными целями — выгодами, которые представляло для начальников и командиров распознавание неприятеля на большом расстоянии. *Только гениальный ум Галилея был способен перенести этот инструмент в новую область знания.* Его не привлекала праздная забава разглядывания с церковных башен знакомых предметов, которые можно было видеть гораздо яснее вблизи без помощи зрительных трубок. *При первом взгляде на новый инструмент он угадал в нем могущественное средство вырваться из тесных пределов земли и проникнуть в глубины небесного пространства.* Благодаря этой великой мысли, которая в то время была вовсе не так близка человеческому пониманию, как мы теперь можем предполагать, зрительная труба из игрушки превратилась в могучее орудие. *В применении зрительной трубы, как и во многом другом, астрономия опередила физику.* Правда, и она сначала видела в новом приборе лишь увеличительное стекло, но мало-помалу узнала еще и более важное значение его в качестве орудия измерения. Тогда физика вновь взяла в свои руки зрительную трубку, подаренную ею первоначально астрономии. Прежде, однако, чем посмотреть, как Галилей при посредстве зрительной трубы с невероятной быстротой превратился из физика-новатора в великого астронома, необходимо познакомиться с одним астрономическим открытием, которое, несмотря на видимую отдаленность от физика, тем не менее, подготовило один из крупнейших переворотов в этой науке.

Предпошлем описанию величайшего научного открытия Кеплера краткий очерк его жизни. *ИОГАНН КЕПЛЕР* (также *Kepler* и *Kepler*) ² родился 2 декабря 1571 г. в Магштате, деревне близ имперского города Вейля в Вюртемберге. Отец его был обедневший дворянин, мать — необразованная женщина, не умевшая ни читать, ни писать. Поэтому воспитание слабого и болезненного мальчика оставляло желать многого. Посещение школы часто прерывалось до 1584 г., когда мальчика отдали в монастырскую коллегию в Адельберге, а затем (1568) перевели в Маульброннскую школу. Получив в 1588 г. степень бакалавра, Кеплер поступил на богословский факультет Тюбингенского университета, так как родители предназначали его к духовному званию; здесь в виде вступительного курса он должен был изучать математику и проявил в ней сразу такие блестящие способности, что его

¹ *Telescopium s. ars perficiendi novum illud Galilei visorium instrumentum ad sidera.* Франкфурт на Майне 1618). Здесь впервые встречается название «телескоп» вместо *perspicilli* и пр. Название «телескоп» и «микроскоп» введено Демисцианом.

² Правописание имен было особенно неопределенным в Германии в XVII и XVIII вв. Главной причиной этого была, вероятно, тогдашняя манера латинизировать имена.

ЖИЗНЬ КЕПЛера 79

профессор Местлан начал заниматься с ним частным образом и познакомил его с системой Коперника, которую Кеплер, еще будучи студентом, принялся защищать словесно и печатно. Это сделало его подозрительным в глазах ортодоксальных теологов, и так как он сам не мог увлечься ортодоксальным богословием, то последовал совету своего учителя и принял в 1594 г. место профессора математики в Граце. Здесь он получал 120 гульденов жалованья и сверх того 20 гульденов за составление календаря, который он начал издавать в 1595 г. Календарь этот, благодаря нескольким удачным астрологическим предсказаниям, которым он сам не придавал значения, доставил ему немалую известность. Но в гораздо лучшем смысле сделало его известным сочинение «*Mysterium cosmographicum*»¹, послужившее поводом для сближения с Галилеем, Тихо и др. Последний пригласил его в Прагу с тем, чтобы Кеплер помог ему в его работах. А так как Кеплера в это время сильно утомили религиозные преследования, которым он подвергался со времени вступления эрцгерцога Фердинанда на престол Зальбургского княжества, то он в октябре 1600 г. решился переселиться в Прагу вместе с женой, хотя и не имел никаких надежных видов на материальное обеспечение. Место, занимаемое Тихо, досталось ему после преждевременной смерти последнего. Кеплеру было поручено составить новые звездные таблицы, но уплата жалованья, а так же и денег, необходимых для его работ, производилась крайне небрежно. С самого назначения в Прагу до конца жизни Кеплеру постоянно приходилось бороться с заботами о куске хлеба. Император и государственные чины, к которым тот направлял его, были одинаково медлительны в денежных уплатах; Кеплер жалуется, что он принужден тратить больше времени на исходатайствование следовавших ему по праву денег, чем на астрономические работы, и что он не имел возможности держать при себе счетчика — обстоятельство особенно тягостное при его частых ошибках в вычислениях. В 1612 г. умер император Рудольф II. Его преемник Матвей, хотя и оставил за Кеплером прежнее место, однако ни в чем не улучшил положения пражского астронома, которого нужда заставила, наконец, принять место в окружном училище в Линце. Здесь Кеплер должен был преподавать математику, исправлять карты страны и в то же время продолжать составление звездных таблиц для императора. Жалованье, назначенное ему в качестве императорского математика, выплачивалось по-прежнему неаккуратно, так что, когда, после вступления Фердинанда II на престол, усилившиеся религиозные гонения заставили Кеплера покинуть школу в Линце, долг казны ему простирался до 12 000 гульденов. Кеплер переселился в Ульм, надеясь издать там свои звездные таблицы, несмотря на недостаток средств. Между тем постоянные напоминания Кеплера о деньгах успели надоесть императору, и тот сдал его на руки Валленштейну. Последний пригласил Кеплера к себе в Саган, в Силезию; когда же Кеплер не оправдал его ожиданий в роли придворного астролога, то он поспешил отделаться от него профессурой в Ростоке. В 1630 г. Кеплер отправился в Регенсбург жаловаться

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

80 «Astronomia nova»

рейхстагу на причиненные ему несправедливости. Но силы его были исчерпаны, и он умер в Регенсбурге 15 ноября на 59 году жизни.

Жизнь Кеплера была сплошной цепью бедствий. Его отец отправился на войну в 1589 г. и погиб без вести; первый брак Кеплера, заключенный в 1597 г., был несчастлив; в 1620 г. мать его подверглась обвинению в колдовстве, и только защита Кеплера, который поспешил к ней на помощь (сделав 70 миль от Линца до Вейля), спасла ее от пытки. Наконец, последние годы его жизни совпали с началом тридцатилетней войны, которая наряду с разнообразными тревогами, внесенными в его жизнь, отвратила от него деятельное участие коронованных особ. Требовался, в самом деле, не только гениальный ум, но и необычайная сила характера, чтобы в борьбе с нуждой, при гнетущих семейных обстоятельствах, среди бурь великой войны и религиозных столкновений сделать для науки то, что сделал Кеплер. Мы имеем перед собой в его лице не мученика, покорно выносящего несколько минут жестоких страданий, а героя, мужества которого не могли поколебать долгие годы мучений.

Научное наследство Кеплера не раз переходило из рук в руки. В 1718 г. Ганш, при денежном пособии императора, издал первый том его сочинений, вместе с письмами; но только в 1856—1871 гг. вышло в свет полное собрание его трудов: «*Ioannis Kepleri opera omnia*» в 8 томах, изданное проф. Хр. Фришем в Штутгарте.

Важнейшим астрономическим сочинением Кеплера признается «*Astronomia nova aitiologhetoç seu physica coelestis tradit commentariis de motibus stellae Martis*» (Прага, 1609). Назовем здесь, кстати, и другие астрономические трактаты его, за исключением «*Prodromus*», о котором уже была речь, а именно: «*Epitome astronomiae Copernicanae*» (Линц, 1618); «*De Cometis*» (Аугсбург, 1619); «*Harmonices mundi*», Линц, 1619) и, наконец, «*Tabulae Rudolphinae*» (Ульм 1627).

Для небесной механики, специально для движения планет, было установлено три закона, удовлетворявших и коперниковой и птолемеевой системе мира при соответствующей замене земли солнцем:

1. Пути планет суть эксцентрические круги.
2. Внутри каждого из этих путей находится точка (*punctum aequans*), из которой движение планеты кажется равномерным.
3. Для земного пути эта точка совпадает с его центром, для прочих же планетных путей точка эта лежит на прямой линии между центром пути солнцем, притом так, что центр делит пополам расстояние солнца от этой точки.

Когда Кеплер сблизился с Тихо, тот был занят определением орбиты Марса, представлявшим большие трудности. Тихо поэтому предположил, что для орбиты Марса *punctum aequans* находится на ином расстоянии от центра орбиты, чем сама планета, и вывел теорию, расходящуюся с наблюдением лишь на несколько минут. Он был склонен удовлетвориться этим результатом, но не мог убедить Кеплера последовать его примеру. Так как последний не мог отнести этого уклонения за счет ошибок наблюдения, то предпринял после смерти Тихо, имея в руках весь собранный последним материал, новый ряд исследований и, наконец, в 1609 г. получил возможность сообщить

«Astronomia nova». ЗАКОНЫ КЕПЛЛЕРА 81

в *«Astronomia nova»* об их полном успехе. В посвящении своего сочинения императору он описывает понесенные им труды в шутовском тоне: «В этой войне высшая честь принадлежит рвению полководца Тихо, который в течение двадцатилетних ночных бдений изучил все привычки неприятеля, выследил его тактику и раскрыл его планы. Просвещенный мемуарами, оставленными Тихо, он (Кеплер) в качестве его преемника на поле битвы уже не страшился неприятеля, а только стал внимательно наблюдать время его возвращения к одному и тому же месту, направил на него тиховские машины, снабженные тонкими диоптрами и, наконец, при круговых объездах на колеснице матери-земли исследовал всю местность. Борьба стоила ему, однако, не мало пота. Часто недоставало машин именно там, где они были всего нужнее, или же с ними не умели обращаться или их направляли не так, как следовало. Нередко также блеск солнца или туманы мешали нападающим ясно видеть, или же густой воздух отклонял заряды от их настоящего пути. Борьбу затрудняла сверх того чрезвычайная изворотливость неприятеля и его бдительность, между тем как его преследователей нередко одолевал сон. В собственном лагере тоже произошло немало несчастий: смерть полководца Тихо, возмущение и болезни; к тому же, — как это обнародовано в сочинении о новой звезде, — в тылу появился неожиданный страшный неприятель в виде громадного дракона с необычайно длинным хвостом, поразившим ужасом все его войска. Сам же он не дал смутить себя страхом и неустанно преследовал врага на всех его поворотах, пока тот, видя, что ему закрыты все выходы, не склонился к миру и не признал себя побежденным; тогда под конвоем арифметики и геометрии, в весьма веселом настроении духа он вступил в неприятельский лагерь. Сначала, не привыкший к покою, Марс еще пытался устрашать; но, потерпев неудачу, он отложил всякую тень неприязни и стал вести себя, как верный союзник. Об одном только Марс просит его величество: у него на небе еще насчитывается много родных: отец Юпитер, дедушка Сатурн, сестра и приятельница Венера и брат Меркурий; все они объединены между собой общностью нравов, и Марс горячо желает, чтобы вся его семья находилась в дружественном общении с людьми и пользовалась одинаковым с ним почетом». — Его величество да соблаговолит поддержать энергию дальнейшей борьбы денежными средствами — этим нервом войны.

В самом сочинении Кеплер описывает бесчисленное множество попыток, которые ему пришлось сделать, чтобы, сохраняя эксцентрические круги, согласовать теорию с наблюдением. Прежде всего, он заметил, что для земного пути приходится вывести *punctum aequans* из центра круга и что при этом условии движение земли может быть определено с удовлетворительной точностью. Но движение Марса не подчинялось теории кругового пути ни при каких условиях, и Кеплер был вынужден принять для него сначала неопределенный овальный, а затем эллиптический путь. Так как с принятием этой гипотезы исчезли все неточности, то он распространил ее и на другие планеты и вывел свой первый закон: *пути всех планет суть эллипсы, в одном из фокусов которых находится солнце*. Далее, применив прежнее положение относительно

82 ЗАКОНЫ КЕПЛера. ЕГО УЧЕНИЕ О ТЯЖЕСТИ

punctum aequans к новым планетным путям, он тотчас же нашел второй закон: *планеты движутся по своим путям с такой скоростью, что радиусы-векторы* (линии, проведенные от солнца к месту нахождения планет) *описывают одинаковые площади в равные времена*. Таковы достижения «Новой астрономии». Третий закон в нее не вошел, так как протекло еще десять лет, прежде чем он был открыт.

В своей «Астрономии» Кеплер всего полнее отрешается от наклонности к мечтаниям и любви к чудесному, которые вообще были ему присущи. Но именно здесь можно видеть, в какой мере *пылкая фантазия великого астронома шла рука об руку с творческой изобретательностью*. Первое астрономическое сочинение Кеплера «*Prodromus*» было посвящено закону планетных расстояний, который он под влиянием пифагорейского учения искал в одной алгебраической закономерности. После своей «*Astronomia nova*» он снова принялся за решение того же вопроса, но гораздо углубленнее, стараясь привести расстояние в соотношение с другими свойствами планетных путей. Этот ход мыслей натолкнул его на периоды обращений и он гениальным взором увидел связь, существующую между последними и расстояниями планет от их центрального тела. В «*Harmonices mundi*» Кеплер сообщает, что 18 марта 1618 г. он впервые напал на мысль сравнить квадраты времен обращений с кубами их средних расстояний, но что ошибка в вычислении помешала в ту пору достижению цели. 15 мая того же года он снова вернулся к прежней мысли и тут уже нашел всем известное отношение, которое носит название *третьего закона Кеплера*, а именно, что *квадраты времен обращения планет относятся между собой как кубы их средних расстояний от солнца*.

Своими законами Кеплер положил основание небесной физике, по его терминологии, или по современному нам, более точному наименованию, — *небесной механике*. Он нашел эти законы эмпирически и гениальным умом постиг закономерность явлений, сокрытую глубоко в хаотической груде наблюдений. Но причину этой закономерности ему открыть не удалось, хотя после найденной им арифметической зависимости времен обращений от расстояний было довольно естественно искать и физическую зависимость этих величин. Каким образом могло случиться, что Кеплер не сделал последнего шага, не открыл всеобщего тяготения? Из его сочинений можно заключить, что мысль об этой силе не была вполне чужда ему; по крайней мере, в своей «Новой астрономии» он посвящает много места рассуждениям о силе тяжести. Вопрос этот снова приводит нас к нашей ближайшей задаче, и мы теперь займемся рассмотрением *механических воззрений Кеплера*, из которых выяснится внутренняя причина непонятной с виду случайности.

Кеплер начинает с резкого опровержения старинной теории движения всех тяжелых тел к центру вселенной и, подобно Копернику, считает тяжесть стремлением однородного к соединению. Но затем он идет дальше Коперника. Центр вселенной, как математическая точка, не способен привлекать к себе тела, так как последние не могут иметь влечения к фикции; равным образом не могут тела стремиться к центру вселенной вследствие того, что они выходят из пределов круглого мира. Напротив, всякое материальное тело, поскольку оно

КЕПЛЕР О ПРИЧИНЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ 83

материально, способно покоиться в любой точке мироздания, если только в этом месте оно находится вне круга действия сродного ему тела. *Тяжесть есть стремление сродных тел к соединению.* Камень стремится не к какой-либо точке в пространстве, но притягивается землей и следует за ее движением. *Будь земля не шаровидна, падающие тела не могли бы направляться к ее центру, а направлялись бы к различным точкам.* Если бы два камня были перенесены на такое место, где бы на них не действовали никакие другие тела, они взаимно притянулись бы, подобно двум магнитам, причем пути обоих были бы обратно пропорциональны их массам. *Таким же образом земля и луна, если бы их обращение не поддерживалось какой-нибудь живой силой, должны были бы соединиться между собой, причем луна приблизилась бы на 53 части, а земля на одну часть их взаимного расстояния, если предположить плотность обоих тел одинаковой.* Действие притягательной силы луны на землю можно явственно видеть на морях. Моря излились бы все на луну, если бы их не удерживала земля. Но так как земля их удерживает, то на месте, над которым вертикально стоит луна, образуется на морской воде гора, обуславливающая морские приливы. Эта гора или волна следует за движением луны вокруг земли, но, в конце концов, она опаздывает, так как не может сравняться с лунной в скорости. Аристотелевское представление об абсолютной легкости некоторых веществ ложно; нет вещества легкого или стремящегося прочь от земли; там, где подобное явление наблюдается, происходит вытеснение более легкого вещества более тяжелым. Земля связывает все земные тела и все их, не исключая облаков, увлекает с собой при своем ежедневном обращении вокруг своей оси. Таковы представления о тяжести, изложенные Кеплером преимущественно в «*Astronomia nova*». В «*Harmonices mundi*» он идет еще дальше и сравнивает ослабление тяжести, исходящей из широкого тела, с ослаблением света, считая то и другое пропорциональным квадрату расстояния. При всем том ему не приходит на мысль приложить свои теории к обращению планет вокруг солнца. Он видит в тяжести только причину взаимной связи в планетной системе, не имеющую никакого отношения к движению планет вокруг солнца. Для дальнейшей разработки теории планетных движений ему недостает правильной теории движения вообще, недостает знания галилеевской динамики и главным образом недостает как исходной точки закона инерции в его полной формулировке. Кеплер вполне ясно формулирует статическую половину этого закона, о динамической же он не имеет никакого понятия. О том, что круговое движение небесных тел может быть вызвано присущей им навеки прямолинейной скоростью, приобретенной неизвестно когда и как, он не мог и помыслить, ибо всецело находился под влиянием древнего представления, что движение должно угаснуть само собой, подобно пламени, если какая-нибудь сила не будет поддерживать и питать его. Кеплер постоянно стремится открыть такую силу, которая вращает планеты около их осей и водит их вокруг солнца, и, не будучи в силах найти ее вне планет, возвращается в «*Epitome*» и «*Harmonices*» к прежним мистическим воззрениям. *Все небесные тела, вращающиеся около своей оси, обладают душой, которая и есть причина этого движения.*

84 АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ ГАЛИЛЕЯ (1609—1616)

Доказательствами в пользу существования земной души он считает внутреннюю подземную теплоту (материя сама по себе холодна), выпотение влаги и образование рек (соответствующих сосудам животного тела), образование горючих ископаемых, способных превращаться в свет, внутреннее строение вещества, например, в кристаллах и пр. Солнце, согревающее и оживляющее все, должно особенно обладать душой, которая и вращает его вокруг оси. *Это вращение увлекает за собой и планеты, движущиеся вокруг солнца*, подобно тому, как железо следует за магнитом, который мы вертим; разница лишь в том, что *планеты следуют за солнцем с различной скоростью, соответственно их тяжести*.

Не станем долее останавливаться на этом предмете, а также на том, как Кеплер далее подробно развивает сходство тяготения с магнитным притяжением: в его время получила распространение манера объяснять все непонятные влияния магнетизмом. Даже Галилей не отрицал связи между суточным обращением земли и ее магнитными силами. В некоторых же умах подобные представления укоренились так прочно, что они думали ниспровергнуть всю мировую систему Коперника, показав, что шар из намагниченного железа отнюдь не способен благодаря магнетизму без конца вращаться около своей оси.

ГАЛИЛЕЙ был еще падуанским профессором, когда в июне 1609 г., при случайной поездке в Венецию, он услышал о новоизобретенной зрительной трубе. Он поспешил вернуться в Падую и после долгого размышления напал на то самое сочетание стекол, которое было найдено голландцами; вскоре, однако, благодаря высокому качеству венецианских стекол он усовершенствовал свой инструмент настолько, что получал увеличение в 30 раз, между тем как трубы первых изобретателей едва увеличивали в 5 раз. Много спорили о том, насколько Галилей действовал в этом случае самостоятельно, руководился ли он описанием нового инструмента или же имел его в руках. *Галилей сам никогда не утверждал, что он изобрел зрительную трубу вполне самостоятельно*; да не в этом и дело: главная заслуга Галилея заключается вовсе не в устройстве инструмента, а в его специальном применении. Галилей не остается, как другие, раболепно на земле, а смелым умом постигает возможность открыть человеческому знанию новые миры и весь отдается своей новой задаче.

Не прошло и десяти месяцев после устройства зрительной трубы. Как появился в печати «*Nuntius sidereus*», сочинение Галилея, заключающее в себе множество новых открытий. Луна при рассматривании в зрительную трубу представляла неровную поверхность с высокими горами и глубокими кратерами. Млечный путь распадался в некоторых местах на кучи звезд. В других частях «небо тоже оказывалось усеянным бесчисленным множеством мелких звезд, невидимых простому глазу; планеты отличались от мерцающих мелких звезд своим ровным мягким светом. *Однако важнейшим фактом и в глазах самого Галилея является открытие системы спутников Юпитера*. Именно, 7 января 1610 г. он заметил три звездочки, которые двигались вокруг Юпитера, как луна вокруг земли, а шесть дней спустя ему удалось открыть и четвертую. Времена обращения новых светил, как оказалось впоследствии, не могли быть определены с точностью, допускающей предска-

занял; тем не менее, Галилей наблюдал их затмения настолько ясно, что мог убедиться в аналогии этих звездочек с земным спутником и *наименовать их лунами Юпитера*.

Новое астрономическое сочинение произвело неслыханную сенсацию, и вместе с его быстрым распространением разнеслась по всему миру и слава Галилея. В том же 1610 г. «Nuntius sidereus» был перепечатан в Праге, Франкфурте на Майне и Париже. Венецианский совет, который в зрительной трубе видел средство усиления господства на море, возвысил содержание Галилея до 1000 гульденов и сократил по возможности его обязательные профессорские занятия; тем не менее, Галилей не пожелал остаться в Падуе на службе республики. В июле 1610 г. он переехал во Флоренцию, где получил титул великогерцогского математика и философа и значительные подарки, сверх содержания в 1000 скуди, при полной свободе от должностных занятий. Венецианцы горячо сожалели об его потере, и некоторые влиятельные и надежные друзья предупреждали его об опасностях, которым он мог подвергнуться во Флоренции, где господствовали иезуиты и где двор находился под римским влиянием. Галилей считал эти опасения неосновательными и стоял на своем, стремясь, по свидетельству одного письма ¹, иметь в полном распоряжении все свое время для научных работ. В упомянутом письме он перечисляет сочинения, которые он желал бы окончить, именно: *две книги de sestemate seu constitutione universi; 3 книги de motu locali; 3 книги о механике и еще несколько других работ по физическим вопросам. Заглавия напоминают его позднейшие великие творения и служат подтверждением того, что материал для этих сочинений был собран еще в Падуе*. По несчастью Галилей не нашел желаемого покоя во Флоренции, и опасения его венецианских друзей скоро превратились в действительность. Неустанно работал он здесь; за перечисленными выше астрономическими открытиями быстро следовали новые, но по мере нарастания числа его почитателей увеличивалось и число его врагов.

Уже в письме к Винте от 30 июля 1610 г. Галилей сообщает о новых открытиях на Сатурне; то же известие посылает он Кеплеру в форме анаграммы, которую он разъяснил ему 13 ноября 1610 г. следующим образом: «*altissimum planetam tergeminum observavi*»; именно, он видел Сатурна, поддерживаемого двумя малыми боковыми звездами. При дальнейшем наблюдении эти звездочки исчезли, и, наконец, планета представилась ему одетой в шапку с обеих сторон. Дальше Галилей не пошел, потому ли, что начинавшаяся слабость зрения мешала наблюдению, или же потому, что его зрительная труба не была способна к большему увеличению. В конце сентября 1610 г. он увидел Венеру в форме серпа и заметил, что она проходит световые фазы наподобие луны. Наконец, в конце того же года Галилей (по собственному его завершению) заметил на солнечном диске пятна. Кеплер наблюдал подобное же явление 28 мая 1607 г., но объяснил его прохождением Меркурия впереди солнца.

¹ К Винте (Vinta) первому государственному секретарю великого герцогства Тосканского, от 27 мая 1610 г.

86 ВЛИЯНИЕ ОТКРЫТИЙ ГАЛИЛЕЯ

Так окончился 1610 г., полный беспримерных успехов для Галилея. Затем пошли годы разочарований. По поводу открытия солнечных пятен возник вскоре горячий спор, из которого Галилей не вышел безусловным победителем. Фрисландский астроном Фабриций, во всяком случае, опередил его в обнаружении открытия, а иезуитский патер Шейнер, в свою очередь настаивавший на правах первенства, сделался его ожесточенным врагом. В сочинении, вышедшем в 1614 г., Симон Мариус {«*Mundus jovialis*», Нюрнберг, 1614) утверждал (по всем признакам, совершенно неосновательно), что уже летом 1609 г. он наблюдал спутников Юпитера, из чего явствовало, что он начал употреблять зрительную трубу для исследования небесных явлений раньше Галилея. Такого рода неприятности не могли, однако, поколебать спокойствия его духа. Гораздо хуже было то, что его противники, *видя свое бессилие на научном поле битвы, принялись возбуждать против него духовные власти.*

В течение первых лет новые открытия как бы ошеломили всех и не вызвали никакой враждебной реакции. Все заинтересовались новым оптическим инструментом, каждому хотелось взглянуть на открытые им на небе чудеса. Физики-перипатетики остались при своих книгах и могли только пассивно наблюдать за движением нового потока. Католическая церковь не успела еще встать на чью-либо сторону, и многие из ее членов были горячими почитателями Галилея. Вскоре, однако, противники вышли из своего оцепенения, и по мере того, как они убеждались в опасности, угрожавшей им со стороны новых открытий, в них возрастала решимость отчаянного сопротивления. Своими физическими открытиями Галилей уже давно нажил себе врагов между физиками-перипатетиками, но вражда ограничивалась пока академическими рамками. Молодому ученому мешали по мере возможности распространять революционное учение, но пока он не затрагивал почтенных господ за живое, его оставляли в покое. Огромная масса настолько привыкла к прежней пище, а новая пища так трудно переваривалась, что скорого переворота в понятиях не приходилось бояться. В самом деле, в науке того времени не видно заметных признаков знакомства с механикой, в том виде, как она преподавалась в Падуе Галилеем, и не заметно также сочувствия большинства к экспериментальному методу. *Новый метод, по всей вероятности, проник бы в физику медленными шагами, если бы наблюдение небесного свода не разрушило с непреодолимой силой все здание аристотелизма.* Когда зрительная труба разложила сферу неподвижных звезд на целый мир необъятной глубины, когда на Солнце были найдены пятна, когда у планет открыли спутников, соответствующих нашей луне, — стало совершенно невозможно отрицать успехи новой науки, далеко опередившей в этой области науку древних. Когда был поколеблен вековой устой небосвода, тем легче должны были придти в движение земные отношения. Раз наблюдение и опыт одержали победу над старым учением в небесных пространствах, это учение должно было и на земле утратить свое освещенное веками значение, а опыт — вступить и здесь в свои права, тем более что после новых астрономических открытий движение охватило более широкие слои общества. Когда Кеплер доказывал, что

ПРОТИВНИКИ ГАЛИЛЕЯ 87

орбиты планет не могут иметь формы совершеннейшей линии, т. е. круга, то аристотелики и клирики могли оставаться спокойными, потому что масса их почитателей не могла заинтересоваться столь мудренными вопросами; *когда же Галилей стал показывать всякому желающему Юпитера с его четырьмя спутниками, как образчик солнечной системы по теории Коперника, возникла неотложная необходимость срочного вмешательства, если в данной области хотели спасти старую точку зрения.* О профессорах-перипатетиках рассказывают, что они отказывались смотреть в зрительную трубу из боязни увидеть спутников Юпитера. Однако это средство не могло долго служить, и необходимо было начать прямо противодействовать новому учению. Иезуиты вначале не относились враждебно к новым открытиям. Галилей пишет (17 декабря 1610 г.) Вельзеру в Аугсбурге: «Наконец опубликованы наблюдения над Медицейскими звездами (лунами Юпитера), производившиеся несколькими иезуитами, учениками о. Клавиуса Я показывал их всем иезуитам, живущим во Флоренции, и приезжим, и они отзывались о них в разговорах и проповедях (весьма благосклонно». Статс-секретарю Винте он пишет (1 апреля 1611 г.): «Я узнал, что господа иезуиты рассмотрели, наконец, новые Медицейские планеты и наблюдали их внимательно с 12 мая. Они всячески стараются открыть их периодическое движение, но вынуждены согласиться с императорским математиком, что это дело весьма мудреное и почти невозможное». Другие духовные лица тоже склонялись к воззрениям Галилея; его давнишний доброжелатель, кардинал дель Монте, писал великому герцогу Тосканскому: «Галилей доказал свои открытия с такой очевидностью, что все просвещенные и понимающие дело люди познали истину и прониклись удивлением». *В марте 1611 г. Галилей поехал в Рим.* Кардинал Беллармин, в саду которого он демонстрировал солнечные пятна, обратился с вопросом к иезуитам и, между прочим, к Клавиусу, и никто в то время не отрицал нового явления. Галилей приобрел себе новых друзей в Риме, и *Академия деи-Линчеи, избрав его сочленом, стала энергично действовать в его пользу.* Но именно эта горячая защита новых воззрений приобрела им много врагов, и число последних увеличилось в следующем году. Великий герцог Тосканский любил собирать вокруг себя ученых и слушать их беседы о естественных науках. На одном из таких собраний коснулись, между прочим, мнения перипатетиков, будто плавание тел в воде зависит преимущественно от их формы. Галилей не только высказался тотчас против такого взгляда, но и написал в соответствующем духе трактат о плавающих телах, содержание которого нам уже известно. Это первое печатное опровержение Аристотеля озлобило перипатетиков более всех его устных заявлений *Винч, ди Грация, Люд, делле Коломбе, Корезио и Пальмерини* выступили с печатными возражениями против галилеевского трактата; и хотя Галилей предоставил защиту своему другу и ученику *Кастелли*, тем не менее, все нападки продолжали обращаться против него лично, так как ответные опровержения приписывались учителю, а не ученику. Со стороны церкви поход против новых открытий был начат доминиканцами; патер Каччини в 1614 г. обличал великогерцогского математика в самой Флоренции, причем начал проповедь следующими сло-

88 ЗАПРЕЩЕНИЕ ЦЕРКОВЬЮ УЧЕНИЯ КОПЕРНИКА

вами («Апост. деяния», 1, II): «Галилеяне, что вы стоите и взираете на небо?»

В одном из трех писем, которые Галилей писал Вельзеру в Аугсбург по поводу солнечных пятен, он открыто высказался в пользу движения земли. Письмо появилось в 1618 г. в печати. Оно указало противникам, куда следует направить свои стрелы; все нападки, не имевшие до той поры надлежащей опоры, обратились теперь против признания Галилеем системы Коперника. Галилея защищал частным образом *Кастелли*, а публично — кармелитский монах *Фоскарини* и августинец *Дидакус а Стуника*, которые единогласно заявляли, что в библии нельзя найти доводов против движения земли; то же утверждал на свою беду и Галилей в нескольких своих письмах. Он дерзнул вступить в заповедную теологическую область, чем он особенно раздражил своих клерикальных противников¹ и дал им в руки вернейшее оружие против себя. Так или иначе, с *этих пор борьба сосредоточилась на библейском вопросе.* Галилей счел нужным снова отправиться в Рим в сентябре 1615 г., чтобы лично защищать там систему Коперника и обратить внимание высшего духовенства на то, что церковь своей оппозицией против неопровержимой истины наносит себе же страшный вред. Он был очень любезно принят папою Павлом V, и влиятельные духовные лица, в том числе кардинал Орсини, как будто согласились с его доводами. Но Галилей ошибся, веря в достижение своей цели; 5 марта 1616 г. Конгрегацией Индекса были воспрещены все книги, в которых говорилось, что движение земли не противоречит священному писанию. Печатное письмо Фоскарини (*Lettera sopra l'opinione del Pittagorici e del Copernico della mobilita della terra e stabilita del Sole*) от 1615 г. было подвергнуто запрещению, а сочинение Коперника и трактат Дидакуса были запрещены до очищения их от всех мест, заключающих в себе превратные воззрения. Имя Галилея не упоминалось в декрете; он даже получит 26 мая по своей просьбе свидетельство от кардинала Беллармина, где говорилось, что *Галилей не отрекся от своего учения и не был подвергнут церковному покаянию, а был только извещен о постановлении священной конгрегации и о запрещении учения Коперника.* По совету великого герцога Тосканского, который считал его дальнейшее пребывание в Риме небезопасным, Галилей вернулся в июне во Флоренцию и жил здесь спокойно до 1623 г., храня, в силу запрета конгрегации, молчание относительно движения земли. К сожалению, он не удержался от участия в споре, возникшем в другой области, — споре, озлобившем всех приверженцев Аристотеля из самых влиятельных членов иезуитского ордена. Именно, в 1618 г. были замечены три кометы, по поводу которых иезуит Орацио Грасси написал трактат. Ученик Галилея *Гвидучи* в 1619 г. опроверг его взгляды в «*Discorso suite Comete*», где рука учителя была настолько ясно видна, что Грасси обратился с возражениями прямо к Галилею. Последний, к ужасу своих друзей, не смолчал, но ответил в своем «*Saggiatore*»

¹ *Wolf* (Geschichte der Astronomie, стр. 247) сообщает, что Газенреффер, преданный друг отца Кеплера, убеждал последнего не печатать ничего такого, где бы система Коперника не была выставлена простой гипотезой, и избегать всякого упоминания о библии.

ДЕ ДОМИНИС. ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ 89

Теория комет, изложенная здесь, не лучше теории Грасси, но изложена она была до такой степени изящно и с таким блестящим полемическим талантом, что возбудила общий интерес и сочувствие. Иезуиты, и особенно Грасси, пришли в ярость, и если они не могли добиться запрещения брошюры, зато тем тверже решили погубить смелого и победоносного противника.

Общее оживление в области физики в начале XVII в. проявилось и в оптике. *Теория цветов* послужила предметом многих изысканий, сначала на основе воззрений древних, а затем и более самостоятельных. *МАРК АНТОНИЙ ДЕ ДОМИНИС* отвел вопросу о цветах значительное место в своем сочинении: «*De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus*» (Венеция, 1611). Он делит цвета на два разряда: на истинные или постоянные, присущие телам, и на кажущиеся или мнимые, которые сообщаются телам лишь известными световыми лучами и вновь исчезают вместе с последними¹. Доминис не сомневается, что мнимые цвета присущи самому свету и даже являются самым светом. Белый цвет, по его теории, как и по аристотелевской, окрашивается, смешиваясь с темнотой, но, не угасая вполне. *Когда белый свет проходит сквозь призму, к нему примешивается более или менее темноты от вещества призмы, смотря по толщине проходимою им слоя призмы.* Вот почему нижний луч, ближайший к преломляющему ребру, по прохождении своем имеет наиболее яркий свет, именно красный, а луч, проходящий сквозь самую толщу призмы, имеет наиболее темный цвет, именно синий. Несмотря на то, что этой теории недостает математической определенности и что опровержение ее крайне просто, она в свое время имела некоторое значение и привела непосредственно к объяснению цветов *радуги*.

Де Доминис подвешивал стеклянные шары, наполненные водой так, чтобы солнечный свет падал на их переднюю поверхность, и заметил, что цвета можно видеть не только позади шара, но и в том случае, если смотреть на него в косвенном направлении спереди кверху, как представлено на рисунке. Это явление он объясняет следующим образом: лучи, падающие на переднюю поверхность шара и преломляющиеся в направлении к задней поверхности, не все проходят сквозь последнюю; часть их отражается вниз и после повторного преломления вновь выходит из шара на его передней поверхности. При этом луч, выходящий из нижней части шара, пробегает внутри него наименьшее расстояние, стало быть, получает наименьшую примесь темноты и кажется красным; между тем как другие лучи, которым приходится проходить внутри шара более и более длинные пути, постепенно темнеют. Когда солнце освещает дождевые капли, свет видоизменяется совершенно так же, как в шаре, и мы получаем от одной капли красный цвет,

¹ *Франциск Агвилониус* (1566—1617) написал в 1615 г. большой фолиант только об одном прямолинейном распространении света. Он проявляет мало знакомства со значительными открытиями таких современников, как Кеплер, но зато обогащает виды цветов еще третьим разрядом интенциональных цветов. Такие цвета появляются, например, на изображениях в *Camera obscura*. Они постольку мнимы, поскольку не принадлежат самим телам, но отличаются от мнимых (призматических) цветов тем, что источником их служит нечто окрашенное.

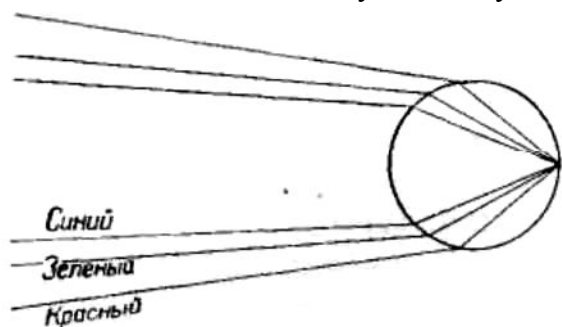
90 «ДИОПТРИКА» КЕПЛера

от другой зеленый и т. д. А так как те же условия повторяются в небе на дугах, окружающих точку, противоположную солнцу, то мы видим концентрические цветные круги, общим центром которых является упомянутая точка. Де Доминис применил, таким образом, весьма успешно старую теорию происхождения цветов к объяснению главной радуги. Идти далее он, разумеется, не мог при незнании законов преломления и зависимости цветов от углов преломления. Так, *определить радиусы концентрических дуг или величину радуги он не мог, а относительно побочной радуги он имеет даже совсем превратные понятия.*

Насколько де Доминис мог воспользоваться трудами предшественников при своем определении хода световых лучей, остается нерешенным. Важнейшее руководство по этой части, сочинение Теодорика¹, было ему, невидимому, незнакомо, скорее, в его руки мог попасть трактат Флейшера². Сравнительно с последним, он имеет, однако, ту заслугу, что он придумал наглядный опыт, соединив отражение и преломление луча в одной капле. Впрочем, в данный период времени такое воззрение высказывалось уже не раз; так, например, англичанин *Гарриот* в 1606 г. объяснял радугу преломлением света на выпуклой и отражением его на вогнутой стороне капли.

Де Доминис родился в 1566 г., поступил в молодых годах в иезуитский орден и достиг сана архиепископа Спалатрского. В этом сане он был обвинен в наклонности к протестантизму и выпущен из инквизиционной темницы лишь под строжайшими угрозами. Переселившись затем в Англию, он жил там в звании декана виндзорского до 1622 г., когда обещание кардинальской шляпы побудило его вернуться в Рим и отречься от протестантизма. Его, однако, вскоре вновь заподозрили в ереси и заключили в тюрьму, где он при неизвестных обстоятельствах и умер в 1624 г.

«Io. KEPLERI Dioptrice, seu demonstratio eorum quae visui et visibilibus propter conspicienda non ita pridem inventa accidunt» (Аугсбург, 1611). Открытие зрительной трубы послужило, по-видимому, для Кеплера поводом к новым оптическим исследованиям главным образом по части преломления света чечевицами. *И на этот раз он не пришел к точному закону преломления; но приближения к последнему, которые были уже указаны им в «Paralipomena», оказались достаточными, чтобы, хотя частично разрешить вопрос о расстоянии изображений и фокусных расстояний у чечевиц.* Кеплер при своем исследовании принимает в расчет только чечевицы, имеющие дугу не свыше 30° . А так как при определении фокуса принимаются во внимание только лучи, параллельные оси, то максимальный угол падения ($x=\omega$) у него не превышает 15° ; принимая для таких малых углов пропорциональность между углами падения и преломления, Кеплер не впадает в слишком большую ошибку.



Черт. 4.

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел второй.

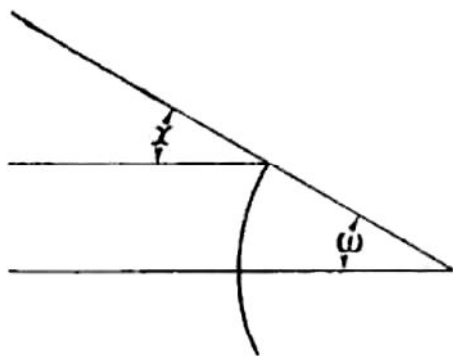
² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА 91

Он начинает с *определения фокусного расстояния параллельных лучей для выпуклой сферической поверхности* и находит ее равной $1\frac{1}{2}$ поперечникам последней; затем фокусное расстояние *вогнутой сферической поверхности* оказывается равным ее поперечнику ¹. Отсюда непосредственно следует, что *фокусное расстояние плосковыпуклой стеклянной чечевицы должно быть равно поперечнику шаровой поверхности, а для симметричной двояковыпуклой чечевицы он находит фокусное расстояние равным радиусу поверхностей*. Расстояние изображения (т. е. место соединения лучей, исходящих из одной точки) для подобной линзы известно ему только для случая, когда светящаяся точка удалена от чечевицы на длину диаметра; дальше этого ему пойти не удалось. Фокусных расстояний для других чечевиц, кроме плоско- и двояковыпуклых, он не определил. Закон преломления приводит Кеплера к открытию и объяснению *полного внутреннего отражения света*. Именно он нашел, что преломленный луч при переходе из воздуха в стекло с плоской поверхностью не может в стекле отклоняться более чем на 42° от перпендикуляра, хотя бы углы падения имели все возможные величины от 0° до 90° . Переменив условия на обратные, он заключает, что ни один луч, отклонившийся в стекле более чем на 42° от перпендикуляра, не может уже выйти из стекла и, далее, что каждый такой луч на границе обеих сред должен будет вернуться в стекло, т. е. подвергнуться полному внутреннему отражению.

Теорию преломления лучей в чечевицах Кеплер переносит на *зрительные трубы* и дает не только *первое объяснение голландской зрительной трубы, но и проект новых более сильных приборов того же рода*. Он отмечает, что если лучи, выходящие из собирающей чечевицы, будут перехвачены посредством другой вогнутой линзы раньше их соединения, то они вновь делаются расходящимися и дают увеличенное субъективное изображение предмета, посылающего свои лучи на собирающее стекло.

Изучив подробно голландскую зрительную трубу, он делает множество проб с различными комбинациями чечевиц и, наконец, *составляет проект зрительной трубы с двумя, а позднее и с тремя двояковыпуклыми стеклами*. По поводу первой (так называемой кеплеровской или астрономической зрительной трубы) он замечает: «Объективное стекло пусть находится на таком расстоянии, что получаемое от него обратное изображение отдаленных предметов будет неясно вследствие сильного расхождения лучей, выходящих из каждой точки предмета. Если же между этим неясным изображением и глазом поставить второе собирающее стекло, притом вблизи изображения, то излишнее расхождение лучей, направленных в глаз, будет уничтожено чечевицей окуляра, и в результате получится отчетливое изображение.



Черт. 5.

¹ Само собою разумеется, что во всех случаях принимается в расчет переход света из воздуха в стекло; постоянное отношение угла падения к отклонению принимается равным 3:1.

92 ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА КЕПЛера

Ближайшая к наблюдателю чечевица увеличивает изображение, получаемое от первой, не изменяя его обратного положения». К сожалению, у самого Кеплера не было ни времени, ни средств, а быть может, и охоты, осуществить свой план на деле; описанная им зрительная труба так и осталась на бумаге. Любопытно, что в письме от 18 декабря 1610 г. Кеплер уже обращает внимание своего корреспондента на необходимость выбирать для объективов чечевицу больших размеров, чем чечевица окуляра, в противном случае понадобится диафрагма. Сверх того, он считает необходимым приспособление для выдвигания и укорачивания трубки, чтобы можно было устанавливать стекла по глазам; до этого стекла зачастую оправлялись в свинцовые трубки, длина которых не поддавалась изменению.

Диоптрика Кеплера имеет по преимуществу математический характер. Соображений о природе света в ней почти не встречается, вопреки обычной щедрости автора по части идей. Даже теория цветов, о которой он трактует в «*Paralipomena*», здесь оставлена без внимания. Дело в том, что *Кеплер — гениальный наблюдатель и глубокий математик — был односторонен; ему недоставало подготовки в области здоровой хорошо разработанной натурфилософии, и этот недостаток невыгодно отразился даже на таком великом уме. Им была выработана научная основа диоптрики; его закон преломления впервые позволил проследить ход лучей даже после их преломления, и сам он для многих случаев определил закономерность этих путей, преодолевая при этом большие трудности. И, тем не менее, здесь, как и в небесной механике, ему был поставлен известный предел: дальше математического определения явлений он не мог сделать ни одного успешного шага.*

ПАТЕР ШЕЙНЕР, который в некоторых вопросах может быть назван преемником Кеплера, занимался, подобно ему, астрономическими и оптическими исследованиями, оставаясь, однако, далеко позади Кеплера во всех отношениях. Шейнер родился в Вальде близ Миндельгейма в Швабии в 1575 г. Двадцати лет от роду он поступил в орден иезуитов, преподавал еврейский язык и математику в Ингольштате, Оренбурге и Риме и умер в звании ректора иезуитской коллегии в 1650 г. Его оптические исследования напечатаны в двух сочинениях. Первое, под заглавием: «*Oculus, hoc est fundamentum opticum*» (Иннсбрук, 1619) посвящено преимущественно теории зрения. Второе, «*Rosa Ursina*¹ sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomeno varius» (Браччьяно, 1630) заключает в себе ряд точных наблюдений над солнечными пятнами и солнечными факелами и сверх того описание новой зрительной трубы, устроенной Шейнером по мысли Кеплера.

Шейнер изучал преломляющую силу различных жидкостей глаза, причем, не зная еще закона преломления, он определял углы преломления градус за градусом. По его мнению, хрусталик своей преломляющей способностью мало отличается от стекла, а водянистая влага

¹ Солнце уподобляется здесь розе, прилагательное же *Ursina* объясняется тем, что книга посвящена герцогу Браччианскому из рода *Ursi*.

ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕЙНЕРА 93

глаза — от воды; стекловидная же влага занимает середину между ними. Рассуждая о том, где именно может происходить процесс зрения в глазу, Шейнер, подобно Кеплеру, останавливается на сетчатке. В одном отношении он, впрочем, идет дальше его, именно — *он вырезывает сзади на бычачьем и телячьем глазу все оболочки до сетчатки и наглядно доказывает, что изображения внешних предметов получаются на последней.* Имеются указания, что он повторил свой опыт в Риме на человеческом глазе. Происхождение прямых изображений в нашем сознании он объясняет по примеру Кеплера; но сверх того дает очень остроумное доказательство перекрещивания лучей, проходящих через узкое отверстие, подобное зрачку; если рассматривать пламя свечи сквозь булавочное отверстие в бумаге и ввести клинок ножа между глазом и бумагой снизу вверх, то из поля зрения прежде всего исчезает верхушка пламени. Приспособление глаза к различным расстояниям Шейнер объясняет удлинением и укорочением глазной оси, обращая в то же время внимание на расширение и сокращение зрачка.

При своих многочисленных наблюдениях над солнцем патер Шейнер заботился об усовершенствовании способов наблюдения. Первоначально он рассматривал солнце только во время прохождения облаков, затем пробовал защищать глаза цветными стеклами, хотел даже заказать чечевицы из цветного стекла, но, наконец, напал на настоящий путь: вытянув зрительную трубу, направленную на солнце, дальше, чем требовалось для ясного видения, он получил на белом экране, помещенном в темной комнате, изображение солнца с пятнами, которые мог показывать нескольким лицам одновременно. Его соотцам и начальникам на первых порах не слишком понравилось присутствие пятен на солнце. В 1611 г. Шейнер, вследствие приказания своего иезуитского начальника Бузеуса, мог сообщить о своем открытии аугсбургскому астроному Вельзеру лишь под условием анонимности; но позднее «*Rosa Ursina*» была все же с соизволения духовных властей напечатана. Шейнер назвал зрительную трубу, в том виде, как она служила ему для наблюдений солнца, *гелиоскопом*. Прибор этот интересен для физики как *первая зрительная труба с двумя выпуклыми чечевицами*. В «*Rosa Ursina*», отмечается между прочим, что автор «уже 13 лет тому назад» показывал солнечные пятна австрийскому эрцгерцогу Максимилиану при помощи зрительной трубы такого же устройства. Если это так, то Шейнер устроил свой гелиоскоп до 1613 г., или, во всяком случае, до 1617 г., так как печатание вышеназванного сочинения продолжалось в течение 1626—1630 гг.¹ *Шейнер упоминает, впрочем, не только о зрительной трубе с двумя чечевицами, но и о трубе с тремя выпуклыми стеклами, позволяющей видеть предметы в прямом виде, —*

¹ Гартинг в одной брошюре 1867 г. (на голландском языке) пытался оставить за Гансом и Захарием Янсенами хотя бы честь изобретения так называемой астрономической зрительной трубы. Он обращает внимание на заявление Бореля (который приписывает Янсону изобретение длинной зрительной трубы около 1610 г.) и на известный анекдот о детях Янсена, рассказывавших, будто они видели свой флюгер — жестяного петуха — не только увеличенным, но и стоящим вверх ногами (см. *Gerland, Bericht. über die wissenschaftlichen Apparate auf der Londoner internationalen Ausstellung, 1876, стр. 45*).

94 ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

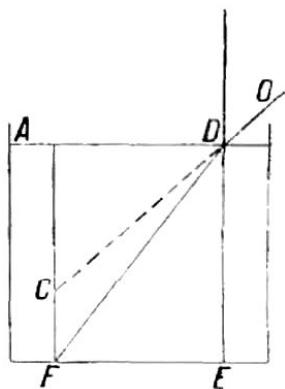
обстоятельство, имеющее значение при рассматривании земных предметов. О *микроскопе* Шейнер отзывался с восторгом, который легко понять, если патер действительно видел то, что описывает: муху величиной в слона, а блоху — равной верблюду.

Шейнер не был выдающимся физиком; ему не доставало инициативы гениального ума. Его оптика с теоретической стороны опирается на Кеплера, объяснения которого он в большинстве случаев повторяет. Но во всех своих исследованиях патер оказывается точным наблюдателем, и его искусство в этом отношении нередко превосходит его способность объяснять явления. Может быть, поэтому его следует признать первым представителем грядущих поколений.

Открытием закона преломления заканчивается на несколько лет ряд оптических открытий, ознаменовавших начало XVII в. *ВИЛЛЕБОРД СНЕЛЛИЙ*, которому принадлежит честь этого открытия, был сыном лейденского математика Рудольфа Снеллия. Он родился в 1591 г. и умер в 1626 г. в Лейдене, где с 1613 г. занимал кафедру механики, доставшуюся ему после смерти отца. Короткой тридцатипятилетней жизни было ему, однако, достаточно, чтобы обессмертить свое имя в области математики и физики. В течение 1615 — 1617 гг. Снеллий окончил первое *измерение земной окружности по единственному надежному методу*. Именно, посредством триангуляции он измерил расстояние от Алькамара до Лейдена и Бергена-оп-Цоома и определил дугу меридиана в $1^{\circ}11'30''$ длины. В трактате «*Eratosthenes Batavus*» (Лейден, 1617) были обнародованы в высшей степени утомительные вычисления (употребление логарифмов было еще неизвестно), при помощи которых он для одного градуса меридиана нашел длину в 28 473 рутов (рейнских), или 55 100 туазов. Снеллий сам открыл ошибки в своих измерениях и вычислениях, но преждевременная смерть не позволила ему их исправить. Мушенбрек из уважения к его памяти проверил все его (вычисления и нашел для одного градуса меридиана 29 514 рутов, или 57 033 туазов.

Снеллий сам не опубликовал своего оптического открытия закона преломления. Трактат, в котором он изложил его, остался ненапечатанным; но *Гюйгенс* упоминает об этом трактате в своей диоптрике, а *Исаак Фосс* в сочинении «*De natura lucis*» (1662) говорит определенно, что сын Виллеброда Снелли показывал ему это сочинение, состоявшее из трех книг. Из отзыва Гюйгенса видно, что Снеллий выражает закон преломления совершенно правильно с фактической стороны, но в несколько неудобной форме. Если глаз, находящийся в O , будет видеть точку F , лежащую в более плотной среде, например в воде, в направлении линии OCD и если мы проведем перпендикуляр FCA к преломляющей поверхности AD , то для одной и той же среды отношение между действительным лучом падения DF и кажущимся CD будет постоянно. Линии CD и DF будут относиться между собой, как косекансы углов, образуемых преломленным и падающим лучом с вертикальной линией DE . На основании таких рассуждений Снеллий дал своему закону следующее выражение: *в одних и тех же средах отношение косекансов углов падения и преломления остается постоянным.* Так как отношение косекансов двух углов обратно пропорционально

отношению их синусов, то этот закон вполне соответствует форме, данной ему впоследствии Декартом и сохранившейся до наших дней. Мы вернемся к нему при рассмотрении научной деятельности Декарта. Первый философ нового научного направления *ФРЕНСИС БЭКОН* родился 26 января 1561 г. в Лондоне, где отец его занимал высокое звание хранителя государственной печати. Молодой Бэкон учился в Кембридже, занимаясь преимущественно древней философией: затем для дальнейшего образования отправился с английским посольством в Париж, откуда принужден был вскоре вернуться вследствие смерти своего отца. Получив незначительное наследство и не умея довольствоваться малым, он впал в долги, вследствие которых он всю жизнь оставался жертвой кредиторов. Желая нажить побольше денег, Бэкон сделался сначала адвокатом и своими талантами в короткое время приобрел громкую репутацию. Честолюбие толкало его, однако, к видным местам на государственной службе и к приобретению политического влияния. Для достижений этой цели он пускал в ход всевозможные средства: льстил, насколько мог, королеве Елизавете, обращался с просьбами к своему дяде, государственному канцлеру лорду Берлею, успел войти в милость графа Эссекса, но, невзирая на все усилия, ему не удалось добиться желаемого, пока была жива Елизавета. В 1598 г. он даже был на недолгое время посажен в долговую тюрьму. Два года спустя Эссекс впал в немилость, и Бэкон, получивший место королевского стряпчего, должен был составить обвинительный акт против него. На этот раз он выполнил неприятную задачу с таким искусством, что Елизавета смягчилась. Вскоре Эссекс был заподозрен в изменнических переговорах с королем Яковом Шотландским и по обвинению генерал-прокурора Кока и королевского стряпчего Бэкона казнен 25 февраля 1601 г. Человек с более твердым характером мог бы отклонить от себя роль обвинителя в этом процессе, несмотря на занимаемый им пост, и потому образ действия Бэкона возбудил против него общее негодование. Несмотря на это, он в короткое время успел приобрести расположение того же короля Якова, сделавшегося в 1603 г. английским королем после смерти Елизаветы, и уже в 1604 г. получил рыцарское звание. В 1605 г. вышло в свет первое сочинение Бэкона, касавшееся, между прочим, и естественных наук, под заглавием «*The two books of Francis Bacon on the proficiencie and advancement of learning divine and human*». Его честолюбивые мечты начали затем осуществляться с поразительной быстротой: в 1607 г. он был назначен главным стряпчим, в 1615 г. — главным прокурором, а в 1617 и 1618 гг. достиг высших должностей, доступных английскому подданному — был сделан хранителем государственной печати и, наконец, лордом-канцлером. Между тем, в 1612 г. Бэкон успел издать новое научное сочинение «*Cogitata et visa*», но затем он подверг его переработке, которая была закончена в 1620 г. Теперь эта книга появилась под новым заглавием: «*Novum organon*



Черт. 6.

96 ЖИЗНЬ И СОЧИНЕНИЯ БЭКОНА

scientiarum», в виде одной из частей обширного труда «*Instauratio magna*», посредством которого Бэкон предполагал преобразовать все науки, построив их на новом основании. Вышедший том «*Instauratio magna*» заключал в себе *посвящение* Якову 1, *предисловие* ко всему труду, а также *план всей работы*. По программе вся работа должна была состоять из *шести частей*. *Первая предназначалась общему обзору всех наук и их подразделению*, причем предполагался не только перечень всего уже достигнутого, но указания на недостающее. *Вторая часть должна была быть посвящена орудию всех наук*, т. е. применению разума при исследовании явлений, и правильным методам познания. *Третья должна была содержать в себе изложение явлений вселенной*, т. е. всякого рода наблюдений и естественную историю, поскольку последняя может служить основанием для вновь создаваемой философии. *Четвертая книга должна была на отдельных примерах показать соотношение между второй и третьей частью работы*, т. е. методы применения нового орудия науки к выводу общих законов из опытного материала. *Пятая книга предназначалась для изложения всех выводов этого рода*, поскольку позволит имеющийся в руках автора материал. Наконец, *шестая часть должна была явиться завершением всех возможных выводов*, т. е. должна была *завершить собою науку*.

Из приведенного ясно, что Бэкон не имел в виду выполнить одними собственными силами намеченной им задачи. Его план представляет собой, очевидно, схему, по которой должны быть изложены как все имеющиеся уже результаты, так и результаты, могущие быть добытыми со временем. Впрочем, он далеко не достиг и тех пределов своей исполинской задачи, которые он, по-видимому, сам себе поставил. В 1620 г. появилась, сверх указанного выше плана всего сочинения, только вторая часть его «*Novum Organon*». Первая часть вышла в 1623 г. под заглавием «*De dignitate et augmentis scientiarum*»; но это было старое сочинение 1605 г., переведенное на латинский язык и лишь отчасти дополненное. Наконец, после смерти Бэкона его секретарь Роулей издал еще третью часть под заглавием «*Silva silvarum sive historia naturalis*». Таким образом, сочинение это осталось незаконченным.

С появлением в печати своего капитального труда Бэкон достиг вершины своей славы. В том же году ему был пожалован титул барона Веруламского, а в следующем — виконта Ст. Альбанского. Однако уже в апреле 1621 г. он был привлечен к суду Верхней палатой и признал себя виновным во всех обвинениях. Именно, Бэкон сознался, что, будучи главным судьей, он принимал от тяжущихся сторон подарки до 1000 фунтов стерлингов, уверяя, впрочем, в свое оправдание, что он никогда не принимал вознаграждения до решения дела и что подарки никогда не влияли на его решение. Парламент приговорил Бэкона 3 мая 1621 г. к денежному штрафу в 4000 фунтов стерлингов, лишению всех должностей и тюремному заключению, срок которого, по тогдашнему обычаю, определялся волей короля. Король сократил этот срок до 2 дней, а в 1624 г. Бэкон настояниями и просьбами добился помилования. Однако ему не пришлось наслаждаться им продолжительное время. Здоровье его постепенно ухуд-

РАЗЛИЧИЕ СУЖДЕНИЙ О БЭКОНЕ 97

шалось, и 9 апреля 1626 г. он умер в замке графа Аронделя в Гайгете, близ Лондона.

Бэкон — человек сомнительного характера. Много спорили и еще будут спорить о том, как понимать это загадочное сочетание добра и зла в его личности и за какой из этих сторон следует признать перевес. Но разногласия о характере Бэкона пустяк по сравнению с расхождением во взглядах на научные заслуги этого загадочного человека Ланге ¹ находит в нем *суеверное и тщеславное невежество*. Либих возводит та него тягчайшее обвинение, которое только можно сделать человеку науки: *«природа, наделившая его с такой щедростью своими лучшими дарами, отказала ему в чувстве истины и в правдивости*. С ложью в сердце подходил он к природе, и она не открывала ему своих тайн, не повиновалась ему. Его опыты могли обмануть людей, но перед ее лицом не могли иметь успеха. В роли естествоиспытателя все в нем оказывалось поддельным» ². С другой стороны, Бэкона превозносят как научное светило, *lumen scientiarum* ³, как *человека, великого во всех отношениях* ⁴, и даже Либих признает, «что биографы и большинство писателей, изучавших сочинения Бэкона, считают его *противником схоластики, реформатором науки, основателем нового метода исследования* и новой философии эмпиризма, или философии полезности». «По их мнению, — продолжает он, — *его имя по истечении веков все еще сияет блестящей звездой, указавшей некогда правильный путь и истинную цель наук*».

Где же тут правда и в чем следует искать причину столь резкого различия взглядов? Постараемся изложить вкратце сущность бэконовского учения и тогда мы увидим, что *различие мнений* в значительной степени зависит от *различия точек зрения*, на которых стоят судьи; и далее, что крайние приговоры в ту или другую сторону грешат неверной оценкой исторической роли Бэкона и состояния современной ему науки.

Бэкон исходит из мысли, что наука (он имеет в виду главным образом схоластику) зачахла и в течение целых столетий оставалась бесплодной, между тем как механические искусства, точно исполненные духа жизни, с каждым днем множатся и совершенствуются. Из первоначально грубых и неуклюжих они постепенно улучшаются и становятся все удобнее для человека. Напротив, философия и высшие науки, хотя и пользуются почетом, подобно иконам, но не продвигаются вперед ни на шаг». Корень и единственную причину этого зла Бэкон видит «в ложном преувеличении сил и способностей человеческого разума и в пренебрежении к его действительным средствам познания». «Тонкость природы неизмеримо превосходит тонкость наших чувств и нашего ума. Увлекательные теории, умозрения и доказательства, придуманные человеком — не что иное, как болезненные проявления». «Логика, которой теперь злоупотребляют, способствует

¹ Ланге, История материализма.

² Liebig. Rede in der öffentl. Sitzung der königl. Akademie d. Wissensch. Мюнхен, 1863.

³ Надгробная надпись (Poggendorf, Gesch. der Physik, стр. 222).

⁴ Fischer, Gesch. der. Physik, т. I, стр. 30.

98 ВЗГЛЯДЫ БЭКОНА НА ДЕДУКТИВНЫЙ И ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОДЫ

скорее укреплению заблуждений, скрытых в ходячих понятиях, чем раскрытию истины». *«Для познания истины возможны два пути. На одном из них человек быстрым полетом переносится от чувственного и единичного к самым общим положениям из таких высших положений, как из непреложных истин, выводит средние положения. Этому пути следуют в наши дни. Второй путь идет от единичного и чувственного к частным положениям, постепенно поднимается выше и выше и, в конце концов, приводит к общему закону. Этот вернейший, но еще никем не испробованный путь».* Этот второй путь целиком основывается на наблюдении. *«Наблюдение, бесспорно, наилучшее из доказательств, пока оно не отступает от прямых результатов опыта».* «Наблюдение, которое попадаетеся нам навстречу, случайность; наблюдение, которое мы ищем и находим сами, — опыт или эксперимент». Только эксперимент пригоден для изыскания истины. «Подобно тому, как действительный характер человека всего вернее обнаруживается, когда его раздражают и вызывают, или подобно тому, как Протей начинает свои превращения только, когда он пойман и сжат в крепких объятиях, — так и природа при умелом воздействии открывает свои тайны полнее, чем предоставленная себе самой»¹. К тому же обыкновенное наблюдение при посредстве наших чувств очень ненадежно. «Несостоятельность наших чувств бывает двоякого рода: они или изменяют нам по своей слабости или вводят нас в заблуждение». «На этом основании я оказываю мало доверия непосредственному свидетельству моих чувств, но ставлю дело так, чтобы мои чувства давали мне отчет только об опыте, а уже опыт — о самом явлении». Следовательно, прежде всего *«необходимо создать хорошую естественную историю и достаточный запас опытных данных для построения основ работы: не следует ничего измышлять, ничего придумывать; нужно только наблюдать и изучать природу».* «Равным образом ум отнюдь не должен переноситься или перелетать непосредственно от частного и единичного к самым общим и отдаленным выводам, носящим название законов искусств и вещей, причем истинность этих положений ставится вне сомнений и из них выводятся и строятся средние положения». «Науки будут хорошо построены лишь о том случае, когда мы, стоя на прочной лестнице, станем подниматься от одной ступени к другой, без перерывов и скачков, — от единичных явлений к простейшим умозаключениям, затем, далее, к средним и, наконец, к самым общим положениям». «Вот почему человеческому уму нужны не крылья, а свинцовая гиря, задерживающая какие бы то ни было полеты и скачки. До сих пор он не находил себе тормоза; а когда найдет — для науки откроется более отрадная будущность». «При выводе теорем путем такой индукции необходимо испытывать и проверять, ограничивается ли данное положение теми единичными явлениями, из которых оно выведено, или же оно имеет более широкое применение. В последнем случае нужно исследовать, подтверждается ли больший объем или более широкие пределы положения свидетельством новых единичных явлений,

¹ De augmentis scientiarum.

ОЦЕНКА ЗАСЛУГ БЭКОНА 99

дабы не оставаться неподвижно на уже известном или же, распространив положение далее, чем следует, не попасть в круг призраков и бессодержательных теней вместо реальных и определенных фактов».

До сих пор Бэкон, безусловно, прав. С блеском и решительным успехом побивает он старые схоластические науки на всех путях и закоулках, исключая их из области знания. Всем наукам он предписывает экспериментальный метод и заставляет признать опытное исследование основой всякого знания; мало того, он доказывает убедительно и неопровержимо, что опытное исследование должно служить не только основанием, но и постоянным коррективом всякого научного прогресса. Возможно ли, казалось бы, отрицать такие заслуги, такие деяния? Между тем, Либих именно здесь открывает обман со стороны Бэкона, выдающего все эти правила за нечто новое и им открытое, тогда как в действительности экспериментальный метод применялся и рекомендовался задолго до него, а схоластика давно уже находилась в загоде. «Поход Бэкона против схоластики напоминает сражение знаменитого рыцаря с ветряными мельницами. Сто лет назад наукой уже были разбиты цели схоластики; на всех наречиях превозносили опыт, Леонардо да Винчи в Италии и Парацельс в Германии ратовали в пользу опыта за пятьдесят лет до Бэкона, а в его время — Гильберт и Гарвей в Англии»¹. На наш взгляд, однако, Либих заходит слишком далеко, отрицая всякую заслугу Бэкона в области экспериментального метода. Его заслуга заключается, во-первых, в том, что именно он, а не кто другой, советует применять индуктивный метод не только к естественным наукам, а ко всей вообще области человеческого знания; во-вторых, сами философы признают в нем основателя нового философского направления, а это уже слава не малая и, во всяком случае, такая, которую не может у него отнять ни один натуралист. В этом смысле Галлер замечает²: «Сравнивать Бэкона с Галилеем совершенно неправильно; последний был, бесспорно, лучшим математиком и астрономом, но зато он ограничивался немногими науками³; Бэкон, напротив, обнимал умом все науки вместе как существо высшего порядка и как никто до него». Ибервег (Ueberweg, Gesch. d. Philos., III, стр. 37, 5-е изд.) признает Бэкона «основателем, правда, не опытного естествоведения, но опытного направления в развитии новой философии». Наконец, Льюис⁴ замечает: «Бэкон, слабый в положительных науках, был силен в философии, искавшей в этих науках пищу для себя. Ему первому принадлежит мысль о философии положительных наук, — мысль, которую он формулировал словами: физика — мать всех наук».

Мы, однако, вовсе не склонны ограничивать заслуги Бэкона одной философией; историку ясно, убеждены мы, что он сделал чрезвычайно много и для естествознания. Нет сомнения, экспериментальный метод давно уже горячо рекомендовался для физики — стоило только

¹ Liebig, Rede etc., Мюнхен, 1863.

² Согласно Böhme, Francis Bacon etc. Эрланген, 1864.

³ С этим мы, конечно, согласиться не можем.

⁴ Нем. перев., „Gesch. d. Philos.“, т. II, стр. 130.

100 ОЦЕНКА ЗАСЛУГ БЭКОНА

вспомнить об однофамильце и соотечественнике Бэкона, жившем в XIII в.; вполне правильно также, что Леонардо да Винчи и Парацельс уже в предшествующем столетии признали экспериментальный метод единственно верным, а земляки и современники Бэкона, Гильберт и Гарвей (1589—1657), пользовались им с блестящим успехом; неоспоримо, наконец, — заметим мы со своей стороны, — что Галилей и Кеплер раньше всех других применили опытное исследование с полным сознанием его ценности; но, несмотря на все это, заслуги Бэкона отрицать нельзя. Относящиеся к данному вопросу сочинения Роджера Бэкона и Леонардо были почти никому не известны; Парацельс и подобные ему не принадлежали к разряду лиц, которых рекомендация могла бы послужить на пользу какому-либо делу; а то обстоятельство, что гениальные физики пользовались этим методом, далеко еще не приводило к общему признанию его, и тем менее к общему пониманию его важности. Кафедры физики в большинстве университетов продолжали быть занятыми перипатетиками с хорошими денежными окладами; не слишком давно натурфилософы были еще настолько сильны, что могли вытеснить Галилея из университета, и мало еще было в то время молодых ученых, умевших производить опыты. Когда Гарвей замечает, что Бэкон писал о науке, как подобает лорд-канцлеру, мы противоречить ему не станем; но именно то обстоятельство, что человек, пользовавшийся такой репутацией в науке, горячо осуждал старые, схоластические философские приемы, оказало несомненную услугу естествознанию и естествоиспытателям. *На мой взгляд, Бэкона можно, не обинуясь, признать одним из основателей нового естествознания, даже в том случае, если видеть в его деятельности не столько создание, сколько выявление и популяризацию научного метода.*

Большого Бэкону, однако, приписывать не следует, несмотря на его обширные притязания. В самом деле, лично он вовсе не желает ограничиться ролью популяризатора метода, существовавшего до него; нет, он преподносит естествознанию новый метод, и полемизирует горячо не с одними только схоластиками, но и с эмпириками, производившими опыты раньше него. Бэкон слишком философ для простого оставления эксперимента в полном распоряжении любого натуралиста. Он должен преподавать вполне точную, общую, пригодную для всех случаев программу, как в дальнейшем следует развивать естественные науки. Он сулит открыть метод, по которому всякий будет способен продвигать науку. *«Мой способ научных изысканий таков, что оставляет мало простора остроте и силе ума; напротив, он уравнивает умы и склонности. Подобно тому, как для проведения прямой линии или начертания правильного круга от руки необходимы ловкость и навык, а при употреблении для той же цели линейки и циркуля эти свойства становятся почти или же совсем излишними, так и при моем методе».* По мнению Бэкона, до него у естествоиспытателей не было никакого метода; если они и производили опыты, то бродили и при их проведении и при разработке добытых результатов, ощупью, впотьмах, безо всякой путеводной звезды. *«Теперешний способ опытного исследования следует назвать слепым и вздорным. Люди толкуются на неведомых путях, делают выводы из первых попавшихся явлений, бросаются на многое,*

ПРАВИЛА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ У БЭКОНА 101

не двигают вперед почти ничего, бывают то заносчивы, то рассеянны и всегда оставляют позади себя что-либо, к чему необходимо возвращаться. Опыты вследствие этого производятся легкомысленно, как бы для забавы: старые повторяются почти без изменения, и при первой неудаче раздосадованный наблюдатель обыкновенно бросает их. В тех же случаях, когда к исследованию приступают серьезнее и с большой выдержкой и рвением, — вся сила расходуется на выполнение одного опыта, чему примером может служить Гильберт со своим магнитом и химики со своим золотом».

«Такого рода наблюдение напоминает веник без связки или ходьбу ощупью в ночное время, когда приходится ощупывать всякий предмет, прежде чем удастся случайно напасть на настоящий путь. Не лучше ли подождать рассвета или зажечь свечу и тогда уже спокойно выходить на дорогу». «Все доселе работавшие в области науки — эмпирики или догматики. Первые собирают и потребляют наподобие муравьев; вторые же, начинающие прямо с разума, вытягивают содержание из себя самих, как пауки паутину. Между теми и другими стоят по своему образу действия пчелы: они собирают сок, перелетая от одного цветка к другому в садах и лугах, но обрабатывают и переваривают добычу собственными силами. Деятельность философии аналогична пчелиной: она не опирается исключительно или даже преимущественно на силы души и не накапливает материала, доставляемого ей естествознанием и механическими экспериментами, в памяти без всяких изменений, а напротив, она перерабатывает и видоизменяет его умом». Подобные правила, бесспорно, очень хороши и должны на все времена служить основными законами научного метода. *Жаль только, что действия самого Бэкона не вполне сообразовались с этими правилами,* как мы это покажем при дальнейшем знакомстве с ним.

«При громадном числе единичных данных и их разрозненности, — что сбивает ум с истинного пути, — нельзя, разумеется, ожидать результатов от простого констатирования фактов, поверхностных опытов и обзоров. Напротив, необходимо тщательно собирать все относящееся к одному предмету и распределять материал систематически в таблицы, которые по своей наглядности и целесообразному устройству подобны живым существам». Таблицы эти составляются по следующему способу. Если мы хотим изучить сущность или, по Бэкону, форму какого-либо явления, например теплоты, то записываем все известные случаи, при которых наблюдается теплота; таким образом получается *таблица положительных инстанций*. Затем каждому отмеченному случаю противопоставляем сходные случаи, при которых теплота отсутствует; из них слагается *таблица отрицательных инстанций*. Так как, далее, во всех случаях присутствия теплоты последняя может проявляться в весьма различных степенях, то мы должны составить еще третью таблицу для отметок по этому предмету — *таблицу сравнения, или степеней*. В этих трех таблицах содержится материал для *индукции в собственном смысле*. Первая работа индукции будет состоять в исключении всех случаев, не имеющих необходимой связи с сущностью изучаемого явления, и в подборе всех прочих, определяющих эту сущность. В нашем примере требуется исклю-

102 ПРИМЕР: ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ

читать все явления, наблюдаемые в отсутствии теплоты или отсутствующие там, где проявляется теплота, а равно — те случаи, когда явление усиливается по мере уменьшения теплоты, и обратно. Соединяя затем вместе все записи, оставшиеся после исключения, мы получаем сущность теплоты, выраженную в необходимых определениях, и таким образом заканчиваем *первый ряд выводов*. Последними не исчерпывается, однако, индукция в ее законченной форме. На указанной ступени она дает в лучшем случае сущность одного только явления; бэконовский метод сулит довести нас постепенно до самых общих оснований всех наук. *Между тем на проверку выходит, что и сам Бэкон принципиально не следует далее по этому пути; он указывает только на дальнейшие и весьма многочисленные вспомогательные средства и правила для индукции, рядом с массой зачастую интересных указаний относительно обработки «наиболее важных» случаев, встречающихся в практике индукции.*

На этом и обрывается «*Novum Organon*», неоконченная часть большого сочинения «*Instauratio*», которому гоже было суждено остаться неоконченным.

Приводим для примера таблицы Бэкона для первого ряда умозаключений в возможно сокращенной форме.

Таблицы для исследования формы теплоты.

Таблица положительных инстанций	Таблица отрицательных инстанций
<p data-bbox="363 1003 647 1037" style="text-align: center;"><i>Теплыми бывают:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="236 1059 778 1122">1. Солнечные лучи, преимущественно летом и в полдень.<li data-bbox="236 1133 778 1227">2. Отраженные и сближенные солнечные лучи (например в зажигательных зеркалах).<li data-bbox="236 1238 778 1272">3. Огненные атмосферные явления.<li data-bbox="236 1317 778 1350">4. Зажигающие молнии.<li data-bbox="236 1361 778 1424">5. Пламя, вырывающееся из кратеров гор.<li data-bbox="236 1469 778 1503">6. Всякое пламя.<li data-bbox="236 1603 778 1637">7. Все раскаленные тела.<li data-bbox="236 1648 778 1682">8. Горячие источники.<li data-bbox="236 1693 778 1727">9. Нагретые жидкости.	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="887 1059 1428 1122">1. Лучи луны, звезд и комет не дают ощущения теплоты.<li data-bbox="887 1133 1428 1227">2. Солнечные лучи не греют в так называемых средних воздушных областях.<li data-bbox="887 1238 1428 1301">3. Падающие звезды и северное сияние не дают тепла.<li data-bbox="887 1312 1428 1346">4. Зарницы не дают тепла.<li data-bbox="887 1357 1428 1451">5. Огнедышащие горы встречаются в теплых и холодных странах.<li data-bbox="887 1462 1428 1592">6. Болотные огни, повидимому, содержат мало тепла. Относительно так называемого огня св. Эльма ничего не известно.<li data-bbox="887 1693 1428 1816">9. Все жидкое под конец охлаждается; едкие жидкости при первом прикосновении тоже холодны.

10. Горячий пар и дым.
11. Горячие ветры.
12. Воздух в подземных пещерах зимой.
13. Шерсть, мех и оперение птиц (содержат некоторую теплоту).
14. Тела, находившиеся некоторое время близ огня.
15. Искры от кремня.
16. Натертые тела.
17. Зеленая сжатая трава.
18. Жженая, спрыснутая водой известь
19. Железо, растворенное в едкой воде.
20. Животные, особенно во внутренних частях.
21. Конский помет и свежие экскременты.

Наподобие теплоты действуют:

22. Купорос на холст.
23. Майерановое масло на зубы.
24. Крепкий спирт.
25. Ароматические травы.
26. Уксус и кислоты на члены, лишенные кожицы.
27. Сильные холода на осязание.
28. Многое другое.

10. Пары масел легко воспламеняемы, но не теплы.
11. Северные ветры холодны.
13. Причина этого тепла в точности неизвестна: переходит ли она от живого организма, или же она зависит от маслянистой поверхности, или, наконец, от замкнутости воздуха.
17. Необходимы более точные наблюдения. Зеленая трава содержит, повидимому, немного скрытого тепла, не могущего улетучиться, когда она спрессована.
19. Свинец в крепкой водке и золото в царской водке не дают тепла.
22. Купоросное масло наощупь сначала холодит.
25. При внутреннем употреблении ароматические травы дают ощущение еще большего тепла.
27. Действие тепла и холода имеет много общего; так, холод подобно огню, предохраняет мясо от гниения.

104 ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПЕРВОГО УМОЗАКЛЮЧЕНИЯ

Таблица степеней.

Твердые тела, а также вода не бывают теплы от природы, но получают теплоту от других тел; впрочем, некоторые тела, бывшие некогда теплыми, сохраняют остатки тепла, например конский помет и жженая известь. Ни одна часть животного не сохраняет заметного тепла после отделения от тела; некоторые, впрочем, содержат возможную или скрытую теплоту, например трупы животных. *«Сверх того, на Востоке употребляют мягкую тонкую ткань из птичьих перьев, которая своим внутренним теплом способна размягчать и растапливать завернутое в нее масло».* Низшая степень теплоты, доступная осязанию, есть, по-видимому, теплота животных; между тем *некоторые люди сухого телосложения уверяли, будто во время горячки тело их разгоралось до того, что посторонние, прикасаясь к ним, слегка обжигались.* Из светил теплее других оказывается Солнце, Марс, Юпитер, Венера, Сириус; они наиболее сильно греют, когда лучи их падают отвесно; сверх того действие планет сильнее при их ближайшем отстоянии от земли, а также, вероятно, когда они находятся вблизи больших неподвижных звезд. Из пламен спиртное следует признать самым мягким, если, впрочем, теплота болотных огней и свечение животного пота не ниже его по степени теплоты. Сильнейший жар получается от смолы, дегтя и еще более от серы. Раскаленные тела бывают иногда горячее пламени; кипяток и воздух внутри печи в несколько раз жарче пламени. Движение усиливает теплоту; по этой причине твердые металлы не плавятся на спокойном мертвом огне, а только на приводимом в движение мехами. Пламя образуется лишь в тех случаях, когда оно находит пространство для своего развития; исключение составляет пороховое пламя при выстреле и др. В пористых горящих телах пламя гаснет тотчас же, если задержать его движение сильным давлением. Раздражающим действием холода тепло усиливается, как это можно наблюдать, приближаясь к камину в сильный мороз. Из всех тел наиболее легко воспринимает теплоту воздух; он также и отдает ее всего быстрее телам; за воздухом следует в этом отношении лед, снег и ртуть ¹.

Таблица исключения.

Ввиду наличия солнечных лучей и подземного огня теплота по природе своей не может быть ни небесной, ни земной. Так как тела, сообщаящее тепло другим, не уменьшаются в весе, то следует отвергнуть какой-либо переход вещества при нагревании. Так как и темные тела способны греть, то свет не составляет необходимого условия для теплоты. Так как все тела нагреваются от трения, то существование самостоятельного теплового вещества этим исключается. По различным причинам из числа источников тепла следует исключить и движение тела как целого.

Отсюда следует *первое умозаключение*, определяющее сущность теплоты: *«теплота есть расширяющее движение, которое задержи-*

¹ Ср. в ч. I, о соответствующих воззрениях Аристотеля.

ОШИБКИ БЭКОНА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИМ ЕГО МЕТОДА 105

ваится и проявляется в мельчайших частицах тел. Если бы можно было возбудить внутри какого-либо тела движение, стремящееся к его расширению и растяжению, а затем это движение так стеснить и обратить против самого себя, чтобы расширение совершилось неравномерно, т. е. частью происходило, частью было вытеснено, то в результате, несомненно, получилась бы теплота».

Немного, надо признать, было добыто Бэконом после стольких усилий по вопросу о природе теплоты! Если, однако, принять во внимание легкомысленно набранный материал и подчас возмутительно ложные данные, с которыми он имеет дело, то нельзя не удивиться, как он вообще мог придти к сравнительно верному определению теплоты. *Физик, способный пролагать новые пути в науке, должен быть хорошим экспериментатором, хорошим математиком, хорошим философом. Бэкон же был только последним; опытное исследование оставалось для него почти неведомой областью, а математика — совсем чуждой.* В качестве философа он ясно видел бесплодность старого, чисто дедуктивного метода; и в своей критике человеческого познания, чувств и разума он действительно является мыслителем, создающим эпоху. Требуя от всех наук, чтобы они начинали с опыта и строились на основе опыта, называя всякую попытку человеческого ума вырваться за пределы опыта вредной для науки (болотным огнем, а не настоящим светочем), он, несомненно, заслуживает титула основателя новой философской науки и является в известном смысле *предшественником нашего теперешнего философского критицизма.* С другой стороны, как только Бэкон сам начинает применять свой метод к естествознанию вообще и к физике в особенности — односторонность его становится очевидной, а его указания и примеры — никуда не годными, подчас даже смешными. Провозглашая основой всего естествознания опытное исследование, он своим личным отношением к нему невольно заставляет сомневаться, делал ли он сам вообще какие-либо опыты. Его секретарь Роулей усердно собирал для него материал, и сам он брал, что попадалось, но собранные сведения, к сожалению, не всегда оказывались надежными и достоверными. Как истый юрист, Бэкон внимательно выслушивал все показания за и против, но сам часто забывал проверять правдивость показаний своих свидетелей. В разработке материала нас поражает его блестящий ум; его выводы порой оказываются полезными даже для естественных наук — даже здесь его выручало верное чутье, но он, как уже было замечено, не всегда руководился им. «По моему убеждению, — замечает Бэкон про самого себя, — никто из занимавшихся доселе изучением природы не заботился более меня при выборе опытов и сведений. Я допускал только факты, опирающиеся на очевидность и проверенные точными опытами, да и то с большим разбором. Ничего не позволил я себе прикрасить или преувеличить из пристрастия к чудесному, и все сообщенное мною чисто от всякого пятна вымысла и тщеславия. При каждом новом и сложном опыте я, невзирая на глубокую уверенность в правильности результата, приводил подробно и весь ход исследования, дабы каждый, следя за происхождением моих данных, мог убедиться, не вкралась ли какая-либо ошибка, и чтобы,

106 НЕДОСТАТКИ МЕТОДА БЭКОНА

таким образом, по мере возможности умножилось число наилучших и вернейших доказательств».

Если, таким образом, первый недостаток Бэкона — ошибочное констатирование фактов — зависит лишь от неверного приложения его метода, то второй, несравненно более серьезный, лежит в самом методе. Бэконовский метод должен быть по своей идее чисто индуктивным; он, поэтому представляет собою род простой арифметической задачи, в которой от данного целого постепенно отбрасывается все несущественное с целью получить в остатке сущность явления. *В этом методе нет места для гипотез;* а между тем новейшее естествознание пользуется гипотезами в широких размерах и с блестящими результатами. Мы предполагаем, например, что свет есть волнообразное движение эфира; выводим из этой гипотезы все свойства, которые подобное волнообразное движение должно иметь; и когда затем посредством тщательно произведенных опытов мы убеждаемся, что свет действительно обладает всеми требуемыми особенностями, то полагаем свою гипотезу весьма вероятным или достоверным научным выводом. Всякая гипотеза в области естествознания приобретает большую или меньшую достоверность, смотря по тому, можно ли вывести из нее путем дедукции большее или меньшее число новых положений, доступных опытной проверке. *Исключая гипотезу из своего метода, что вполне естественно при полном и принципиальном отрицании дедукции,* Бэкон тем самым устраняет возможность наилучшего использования опытного наблюдения. В этом заключается *существеннейшее отличие новейшего естественнонаучного метода от бэконовского,* а также и *существеннейший недостаток последнего.* Непонятно даже, как мог Бэкон впасть в подобную ошибку, ибо ведь такие великие физики, как Гильберт и Галилей, с трудами которых он был знаком, уже решительно и вполне сознательно вступили на этот новый, верный путь. Извинением ему может служить лишь то обстоятельство, что для него, как философа, опытное исследование не могло быть привычным орудием и что *сильнейшая из дедуктивных наук, математика, была ему, по-видимому, совершенно чужда.* Гипотеза вообще немыслима без дедукции, так как из гипотезы приходится выводить положения, которые должны быть проверены на опытах. С другой стороны, наиболее надежная дедукция, это — математическая; там, где мы из гипотезы вывели математически законы, определяющие количественные отношения явлений, а затем имели возможность убедиться в полном согласии выведенного с действительно наблюдаемым, там мы смело приписываем гипотезе математическую достоверность, хотя по существу следовало бы лишь говорить об очень значительной ее вероятности. Бэкон приступил к науке одаренным сильным философским умом и значительной склонностью к наблюдению, *математического же понимания он был, можно сказать, совершенно лишен.* Этим одним и объясняются его ошибки. Примером для применения своего метода он случайно или сознательно выбрал теплоту — ту область физики, где математика могла играть наименьшую роль; если бы он не держался, как кажется, преднамеренно в стороне от оптики и механики, недостатки его плана стали бы очевидными для него самого. Вообще,

НЕЗНАКОМСТВО БЭКОНА С МАТЕМАТИКОЙ 107

к этого рода знаниям он, по-видимому, был мало способен. Так, будучи знаком с термометром в его грубой зачаточной форме и даже описывая способ приготовления этого прибора, он интересуется лишь чувствительностью воздуха к теплоте, но об измерении ее не говорит ни слова. Везде, где ему приходится говорить о движении, он и не пробует определить скорость, время и пространство в каких-либо единицах меры, но либо довольствуется (например, в своем «Novum Organon») курьезнейшим подразделением разных видов движения, или предлагает (например, в трактате «De augmentis scientiarum») изучать, какие тела приводятся в движение тяжестью, какие легкостью и, наконец, какие не поддаются влиянию ни одной из этих причин. Насколько Бэкон был чужд всякого представления о надежности, доставляемой совпадением математических дедукций с действительными наблюдениями, явствует из его суждений о Копернике. В разделе Organon'a, в котором упоминается о Копернике, он говорит об астрономах, «которые любят насиловать свои чувства безо всякой надобности и затемняют дело». А еще раньше в одном из своих трактатов он относит Коперника к числу людей, «которые при изучении природы не останавливаются ни перед какими вымыслами, если только последние совпадают с их расчетами». Если смотреть на вопрос с этой стороны, то можно до известной степени понять резкость отзыва Дюринга¹, что Франциск Бэкон не обладал ни математическим складом ума, ни способностью точного мышления. «Он был только проповедником, так сказать, осязательного эмпиризма, быть может, уместного для описательных естественных наук, но отнюдь не для механического или физического исследования. Он не имел никакого представления о значении и важности математического и созидательного мышления. *В действительности все высшее естествознание только потому и развилось, что оно никогда не впадало в искушение следовать рецептам английского лорд-канцлера.*

Однако и подобные суждения заходят слишком далеко в своей односторонности и несправедливы по отношению к Бэкону. Во-первых, не следует забывать, что некоторые отрасли физики, и, прежде всего оптика, изучались в то время слишком односторонне, исключительно с математической точки зрения, и что именно в данной области требование внимательного наблюдения явлений природы могло притязать на новаторство. Во-вторых, значение, которое Бэкон придает индуктивному методу как таковому, и настойчивость, с которой он рекомендует этот метод для всех наук вообще, составляет неоспоримую его заслугу. Естественным же наукам в частности следует помнить, что Бэкон своей решительной защитой их метода, без всякого сомнения, способствовал скорейшему признанию и широкому распространению последнего. В этом отношении мы вполне согласны с мнением Льюиса²: «Хотя его метод и не имел той силы, которую ему с такой уверенностью приписывал Бэкон, тем не менее, его красноречие и плодотворные идеи имели огромное влияние на современное ему и после-

¹ Dühring. Geschichte der, allgemein. Principien d. Mechan., 2-е изд. стр. 103—104.

² Lewes, Geschichte. der Philosophie, II. стр. 128.

108 ДИАЛОГИ О ДВУХ СИСТЕМАХ ВСЕЛЕННОЙ. ДЕНЬ ПЕРВЫЙ

дующее поколение. Он облагородил новое научное направление и научил людей «гордиться исследованиями, которые в противном случае оставались бы в тени. Он доказал бесплодность субъективного метода и настаивал на необходимости терпеливого изучения природы. Блеск его слога придавал неотразимую увлекательность его доводам».

В 1616 г. при папе Павле V ГАЛИЛЕЮ, как нам уже известно, было дано знать, что учение Коперника противно св. писанию; вследствие чего он и воздерживался от всяких рассуждений на эту тему. Но в 1621 г. Павел V умер, и его вторым преемником сделался в 1623 г. Урбан VIII, тот самый кардинал Барберини, который за три года до того восхвалял Галилея в латинских стихах. Узнав о восшествии на престол своего доброжелателя, обрадованный Галилей поспешил в Рим, и действительно был принят настолько любезно, что даже получил обещание пенсии для сына. После такого приема Галилей ободрился и счел возможным приняться за окончание своего сочинения о системах вселенной. В течение 1628 и 1630 гг. он был дважды в Риме, и уже при первой поездке отдал свой труд на суд духовных цензоров. В 1630 г. он получил разрешение печатать его, и римское общество *Dei Lincei*, издавшее галилеевского «*Saggiatore*», охотно взяло бы на себя издание нового произведения, если бы, по несчастью, в это время не умер основатель и президент общества, князь Чези. С его смертью дело затянулось; а с 1631 г., когда, вследствие чумы в Тоскане, папа окружил свои владения пограничным кордоном, печатание книги в Риме стало невозможным. Она была издана во Флоренции в 1632 г. под заглавием: «*Dialogo di Galilei Linceo, Matematico supremo dello studio di Padova e di Pisa, d filosofo e matematico primario del serenissimo Granduca di Toscana, dove nei congressi di quattro giornate, si discorre sopra i due massimi sistemi Tolemaico e Copernicano del mundo*». В этом сочинении проводится сравнение между системами вселенной Птолемея и Коперника в форме беседы, продолжающейся четыре дня. В беседе участвуют, с одной стороны, друзья Галилея Сагрето и Сальвиати в качестве сторонников коперниковой системы, а с другой — перипатетик философ Симплиций, защитник птолемеевой системы. Беседа происходит в доме Сагрето. *Первый день посвящен опровержению учения перипатетиков.* Между движениями земных и небесных тел нет различия; напротив, земные тела, как и небесные, должны совершать круговое движение (мнение, высказанное уже Коперником). Действительно, существование вселенной было бы невысказанно, если бы все движения не приводили тел вновь к их исходной точке. С точки зрения неизменяемости и неразрушаемости тоже нет различия между небесными телами и землей: во-первых, потому, что все изменения земных тел ограничиваются незначительными изменениями на поверхности земли; во-вторых же, потому, что и самое небо не представляет безусловного постоянства: кометы, например, появляются на небе и вновь исчезают, также и пятна на солнце, а в 1572 и 1604 гг. появились даже новые светила, принадлежащие к отдаленнейшим неподвижным звездам. Нет никакой необходимости, чтобы земля покоилась в центре вселенной; мы видим только, что все земные тела стремятся к центру земли, и если мы заключаем

ДЕНЬ ВТОРОЙ, ТРЕТИЙ И ЧЕТВЕРТЫЙ 109

отсюда, что они движутся в направлении центра вселенной, то мы утверждаемое вводим в состав доказательства. Мировые тела могут и не быть строго шарообразными, так, например, луна имеет неровную поверхность.

Из наличия светлых и темных пятен на луне мы, однако, не в праве заключить о существовании здесь морей; в противном случае на луне было бы заметно образование облаков. Луна постоянно обращена к земле одной и той же стороной, что, *вероятно, происходит вследствие магнитного притяжения последней*. Слабый вторичный свет, которым весь лунный диск освещен перед новолунием и после него, происходит от отраженного землей солнечного света (а не прямо от солнечного света, просвечивающего якобы сквозь прозрачную луну); день продолжается на луне месяц; времен года там нет вовсе; жаркий пояс занимает там не более 10°; воды там нет, вследствие чего органическая жизнь, похожая на нашу, там невозможна; *однако мера нашего знания не является мерой существующего*.

Предметом беседы второго дня служит вращение земли вокруг оси, причем старое воззрение опровергается частью доводами Коперника, частью же новыми, собственными. Ни одно земное тело не движется по прямой линии; кажущаяся прямолинейность движений зависит только от того, что мы не замечаем собственного движения. Нет никакой необходимости, чтобы центробежная сила сбрасывала с поверхности земли дома и людей, так как *сила эта тем слабее, чем больше радиус кругового пути*; при величине же земного радиуса достаточно силы тяжести для противодействия центробежной силе. Вселенная делится на движущуюся и неподвижную часть, причем *для явления безразлично, которой из двух частей приписать движение*. Планеты двигаются тем медленнее, чем они дальше от солнца. Сатурн, например, совершает свой круговой путь в 30 лет; вот почему правильнее считать сферу неподвижных звезд находящейся в полном покое, чем приписывать ей суточное обращение.

Движение земли вокруг солнца составляет предмет рассуждений третьего Дня. Галилей защищает это движение доводами Коперника, но только делает поправку относительно принимаемого последним третьим движением земли, в силу которого земная ось должна неизменно сохранять параллельное себе положение. *Ось вращения и без вмешательства посторонней силы остается постоянной в каждом свободно движущемся теле*; например, если положить деревянный шар на поверхность воды в лохани и двигать этот сосуд, то шар не следует за этими движениями, а сохраняет неизменно свое первоначальное положение относительно стен комнаты.

Беседа четвертого дня посвящена объяснению приливов и отливов в связи с движением земли; это, впрочем, слабейшая из всех теорий Галилея, и мы на ней останавливаться не будем.

Галилей полагал, что поступает предусмотрительно, указав в своем предисловии ¹, что данное сочинение вполне согласно с намерениями

¹ По Вольфу («Gesch d. Astronomie», стр. 255) предисловие это было вынуждено у Галилея верховным цензором доминиканцем Н. Риккарди.

110 ИНКВИЗИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ГАЛИЛЕЯ

церковных владык и даже полезно для их целей. *Тем не менее скоро разразилась жестокая буря против новой защиты Коперника.* Пизанский профессор философии *Киарамонти* (1565—1652) написал резкое возражение против новой книги; перипатетик *Клод Беригард* (1578—1663) утверждал, что Галилей вложил в уста Симплиция далеко не самые веские доводы против движения земли; в Риме подкапывались под него *иезуиты Грасси и Шейнер* со всем рвением личной ненависти; и наконец, кто-то сумел изменить доброе расположение папы, убедив его, что Галилей высмеял его самого, изобразив его под видом Симплиция. В Риме была назначена комиссия для расследования дела, состоявшая из отъявленнейших перипатетиков, и для участия в ней был, между прочим, вызван в Рим пизанский профессор Киарамонти. Комиссии был представлен прежний протокол увещания Галилея кардиналом Беллармином, на котором неожиданно оказалась надпись, *будто Галилею было определено запрещено считать учение Коперника правильным или защищать его под угрозой кар св. судилища, и что Галилей, выслушав такое решение, будто бы смирился и клятвенно обещал повиноваться*¹. После этого было вполне естественно обвинить Галилея в нарушении постановления 1616 г. и представить его на суд инквизиции. В ноябре 1632 г. его действительно вызвали в Рим, и как ни возмущался великий герцог Тосканский Фердинанд II, но этот двадцатидвухлетний юноша не сумел оказать должного сопротивления папе. Больной Галилей был вынужден отправиться в путь 20 января 1633 г. и прибыл в Рим 13 февраля, выдержав на границе папских владений двухнедельный карантин. Он остановился сначала у тосканского посла Никколини (который вообще, пренебрегая личной опасностью, пускал в ход все доступные ему средства для защиты и облегчения участи своего друга); но 12 апреля Галилей был заключен в инквизиционную тюрьму, откуда, впрочем, в виду болезненного состояния его выпустили через две недели. *Наконец, 21 июня Галилей был вновь вызван в суд, оставался весь день и ночь в инквизиционном помещении, а на другой день был переведен в доминиканский монастырь Alla Minerva, где его заставили на коленях отречься от всех своих заблуждений*².

¹ Галилей постоянно отрицал факт такого обещания, и так как приведенное место протокола не скреплено никакими подписями, то подлог становится в высшей степени вероятным (*Wolf*, «*Gesch. der Astronomie*», стр. 255).

² Формула отречения была следующая: «Отрицаю, презираю, и проклинаю от чистого сердца и с нелицемерным убеждением все названные заблуждения и ереси, а равно и все другие противные св. церкви заблуждения и еретические секты. Клянусь впредь ни устно, ни письменно не утверждать ничего, могущего бросить на меня подозрение в чем-либо подобном; в случае же встречи с еретиком или подозреваемым в ереси обязуюсь указать на него св. судилищу или инквизитору и епископу того места, где буду находиться. Сверх того, обещаю и клянусь выполнять в точности все эпитемии, которые наложены на меня св. судилищем или будут им впредь назначены. Если бы случилось, что я когда-либо преступил (от чего да избавит меня господь) данные мною теперь обещания, обязательства и клятвы, то готов подвергнуться всем эиитемиям и карам, которые назначены для подобных преступников определениями св. канонов и других общих и частных конгрегаций: да поможет мне в этом господь бог и св. евангелие, на которое возлагаю руки».

ОСУЖДЕНИЕ ГАЛИЛЕЯ. ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ЕГО ЖИЗНИ 111

Что происходило в ночь с 22 на 23 июня в здании инквизиции с 69-летним больным стариком, вероятно, навсегда останется тайной. Нет никакого сомнения, что ему грозили пыткой; но пытали ли его на самом деле — это спорный вопрос, которым в последнее время много занимались, но окончательно не разрешили. *Вольвилль* (*Zeitschr. f. Mathematik und Physik*, XXIV Jahrg., 1879) высказывается поэтому поводу следующим образом: *разоблачения Сильвестра Герарди выяснили с полной достоверностью, что 16 июня 1633 г. папой и конгрегацией было принято решение подвергнуть Галилея под угрозой пытки так называемому Examen de intentione, и если он будет упорствовать в своем отрицании единомыслия с Коперником, то отправить его для дальнейшего дознания в отделение пыток. Текст сентенции вполне точно указывает на то, что в силу папского постановления Галилея отправили в камеру пыток. С другой стороны, акты ватиканской рукописи, которые, в противоположность декрету и прямому смыслу приговора, свидетельствуют, будто 16 июня был издан приказ ограничиться лишь угрозами пытки и будто с этим приказом и сообразовались при ведении дела, — эти акты, на основании и внутренних и внешних соображений возбуждают сильные подозрения в их позднейшей подделке.*

Кроме отречения от своих заблуждений, Галилей был приговорен к тюремному заключению. Последнее было, однако, тотчас же заменено домашним арестом в Villa Medici, а вскоре затем пребыванием в епископском дворце в Сиене. 8 июля он прибыл к епископу Пикколомини, своему приятелю, 18 декабря 1633 г. он был переведен в виллу Беллосгардо близ Флоренции, и, наконец, 19 ноября 1634 г. — в виллу на Монте-Ривальто в церковном приходе Аччетри. *Здесь Галилей умер 8 января 1642 г. от изнурительной лихорадки.* До последних дней он находился под бдительным надзором инквизиции, которая следила за его жизнью и научными работами. Ему было запрещено собирать у себя научные и музыкальные общества, устраивать многолюдные обеды или увеселения. О том, что происходило на инквизиционном суде, он был обязан хранить безусловное молчание, и, разумеется, боялся нарушить это обязательство. Даже смерть не примирила церкви с ним; на его могиле не было произнесено надгробной речи; его тело не позволили поместить в семейном склепе Галилеев, и с трудом согласились дать ему место в часовне, примыкающей к церкви, да и то под условием, что там не будет ни памятника, ни надгробной надписи.

Здоровье Галилея сильно расстроилось в последние годы. Начиная с 1616 г., он постепенно терял слух, а с 1637 г. у него на обоих глазах начал образовываться катаракт, вследствие чего он уже с 1639 г. не мог сам писать, а лишь диктовал; в 1640 г. он окончательно лишился зрения. При все том, Галилей никогда не оставался праздным. Так как инквизиция воспретила ему занятия астрономией, то он вновь обратился к физике и начал приводить в систему свои открытия в области механики. *В 1634 г. вышла в свет его механика во французском переводе Мерсенна, а в 1638 г. — наиболее выдающееся его произведение «Discorsi e dimostrazioni».* Немалым мужеством со стороны Мерсенна было издать сочинения Галилея спустя два года после поразившего его приговора инквизиции. В Италии было категорически

112 УЧЕНИКИ ГАЛИЛЕЯ. ИЗДАНИЯ ЕГО СОЧИНЕНИЙ

воспрещено печатать какое бы то ни было новое сочинение Галилея или переиздавать прежде напечатанное. Поэтому последний труд его не мог быть напечатан на родине. В посвящении «Discorsi e dimostrazioni» графу Ноайльскому (французскому посланнику в Риме) Галилей говорит, между прочим, что хотел разослать несколько рукописных экземпляров в разные места, чтобы его труд не погиб в случае, если нельзя будет осуществить его издание. А самому графу, посетившему его в Арчетри, он передал одну из копий в тех же видах, когда в 1638 г. неожиданно получил письмо от знаменитых лейденских Эльзевиров с предложением напечатать «Discorsi» и с просьбой прислать посвящение. Таким образом книга и появилась первоначально в Лейдене. Верен ли этот рассказ или только придуман с целью оправдать Галилея в глазах инквизиции, сняв с него ответственность за издание книги, остается нерешенным.

Из бывших учеников к Галилею осенью 1638 г. был допущен его давнишний друг *Кастелли*, так как опасались близкого конца больного старца. Ему было позволено в присутствии инквизиционного стража сообщить Кастелли свои незаконченные исследования, за исключением тех, которые имели какое-либо отношение к движению земли. Летом 1639 г. *Вивiani* тоже получил позволение посетить Галилея, а в октябре 1641 г. того же добился и *Торичелли*. Эти два ученика вместе с сыном Галилея Винченцо и представителями инквизиции стояли у смертного одра великого человека.

Сочинения Галилея многократно перепечатывались и во все увеличивающемся числе экземпляров. В 1636 г. он сам через посредство Миканцио вел переговоры с Эльзевирами об издании полного собрания своих сочинений, но при тогдашних тяжелых обстоятельствах это начинание не удалось осуществить. *Первое издание было напечатано в 1656 г.* стараниями Вивiani при содействии принца Леопольда Медичи у издателя Карло Манолези в Болонье. Оно состоит из двух томов in quarto, причем опасные «Беседы о системах вселенной», разумеется, не вошли в их состав. *Второе издание «Полного собрания сочинений» появилось в 1717 г. в трех томах in quarto во Флоренции* (издателями были Тортини и Франки), но опять-таки без запретных «Бесед». Беседы эти (с приложением формулы отречения) увидели свет лишь в 1744 г., в четырехтомном издании, напечатанном в Падуе. В Милане в 1811 г. вышло «*Полное собрание сочинений Галилея*» в тринадцати томах, а за ним последовало новейшее и лучшее до сих пор: «*Le opere di Galileo Galilei, Prima edizione completa condotta sugli Autentici Manoscritti Palatini* (Флоренция, 1842—1856) издание Альбери¹, заключающее в себе собрание писем Галилея². Из биографов Галилея важнейшие: флорентийский каноник *Герардини* (лично знавший Галилея с 1633 г.), *Вивiani* (1654), *П. Фризи* (1777), *Ягеман* (1783), сена-

¹ Письма от Сагредо, Миканцио, Кавальери, Кастелли и др. к Галилею помещены в Carteggio Galileano inedito con note et appendici per cura di Giuseppe Campori, Модена, 1881.

² В настоящее время имеется лучшее издание, так называемое Edizione nazionale, состоящее из 20 томов, выпущенных под руководством Favaro. (Прим. ред.).

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТА. А. КИРХЕР 113

тор *Нелли* (1793), *Тирабоски* (1796), *Либри* (1841), *Мартин* (1868), *Оджиони* (2-е изд. 1875) и др.

Из *физических приборов, принадлежавших Галилею*, сохранились до сих пор: два телескопа его работы, стекло объектива, естественный магнит (в арматуре), несколько термометров и микроскоп без стекол (во Флоренции); прибор, показывающий, что тело пробегает по хорде круга и по диаметру в равные времена; телескоп, термометры водяные и воздушные и другой естественный магнит в оправе (в Падуе)¹.

После свыше тридцатилетнего промежутка времени физики снова вернулись к изучению свойств магнита. В 1634 г. появилось сочинение патера *КИРХЕРА* «*Magnes sive de arte magnetica tripartitum*» в первом издании, и уже в 1641 г. последовало второе издание. Кирхер в своем трактате указывает *способ измерения силы магнита*: он подвешивает магнит к одной чашке весов и уравнивает его на другой леском; затем приводит магнит в соприкосновение с куском железа и определяет, сколько нужно прибавить песка, чтобы оторвать железо от магнита. Этим способом, по его замечанию, можно сравнивать силу южного и северного полюса, а также решать вопрос о пользе арматуры магнита. Кирхер наблюдал, что магнит с одинаковой силой притягивает раскаленное и холодное железо: он указывает также способ приготовления магнитных стрелок и компасов. Большую часть его сочинения занимает, однако, *описание магнитных забав и фокусов*, например, *perpetuum mobile*, железного ежа, двух сталкивающихся бараньих голов, и т. д. *Тут же указан способ, по которому люди, находящиеся на расстоянии многих миль, могут сообщаться между собою посредством магнитных стрелок*. Мысль эта, впрочем, не нова, и Галилей тоже рассказывает об одном человеке, обладавшем секретом подобного телеграфного сообщения, причем, однако, прибавляет, что человек этот не сумел осуществить своего фокуса даже на расстоянии нескольких комнат. *Книга Кирхера, несмотря на предшествовавшие работы Гильберта, не имеет существенного значения*. Такой оценке не приходится удивляться, прочитав, например, что силу магнита можно значительно увеличить, если его положить между двумя сухими листьями *Isatis sylvatica*. Правда, автор пытается объяснить странное для него самого влияние растения содержанием железа в листьях, тем не менее, одного этого заявления достаточно, чтобы поколебать доверие к научным построениям и точности опытов Кирхера.

Атаназиус Кирхер, имя которого встретится нам еще раз в области оптики, родился в 1601 г. в Гейзе близ Фульды; поступил в 1618 г. в орден иезуитов; преподавал в Вюрцбурге, Авиньоне и, наконец, в Риме философию, математику и восточные языки. Умер в 1680 г. Помимо физических сочинений он известен своими археологическими исследованиями и устройством в Риме музея искусств, носящего его имя (*Museum Kircherianum*).

Вообще Кирхер человек с обширным кругом знаний, *но не физик в собственном смысле, и скорее собиратель, чем самостоятельный*

¹ Из *Gertand, Versuche eines Verzeichnisses der bis auf unsere Zeit erhaltenen Originalapparate*, Leopoldina, H. XVIII, 1882.

114 Н. КАБЕО. Г. ГЕЛЛИБРАНД. МАГНИТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ

ученый. Он до известной степени напоминает Порту. Разумеется, он гораздо образованнее последнего, соответственно уровню века, но зато более многоречив и скучен, подобно многим другим представителям ученого сословия того времени.

Второе сочинение о свойствах магнита принадлежит иезуиту *НИКОЛО КАБЕО*. «*Philosophia magnetica*», напечатанная в Ферраре в 1639 г., тоже не выходит за пределы фактов, указанных Гильбертом, за исключением незначительных частных. *Магнит по наблюдениям Кабео притягивает ржавое железо слабее чистого*; два магнита в своем действии на кусок железа могут взаимно усиливаться или ослабляться, смотря по сообщенному им положению: *железные иголки, плавающие в воде, поворачиваются в направлении меридиана, даже если они не намагничены*; железные инструменты сами по себе приобретают магнитную силу; между прочим, и железные оконные решетки, стоящие вертикально, мало-помалу становятся магнитами, причем нижний конец соответствует северному полюсу, а верхний — южному. *Если магнит способен поднять два фунта железа, то это не значит, что он сверх одного фунта железа может удержать и один фунт свинца, прикрепленного к железу*. Несмотря на ряд подобных правильных наблюдений явлений магнитной индукции Кабео не сумел найти общей исходной точки зрения для их объяснения: доказательство, что одно только экспериментальное искусство не в состоянии обусловить действительный научный прогресс. *Объяснение электрического притяжения у Кабео несколько нагляднее прежних*. Истечения, исходящие из тел, вследствие трения отталкивают непосредственно прилегающий воздух, который, однако, вследствие сопротивления более отдаленных слоев приходит в вихреобразное состояние, не допускающее дальнейшего распространения истечений и возвращающее их вместе с легкими телами обратно к электрическому телу.

Напротив, *изучение земного магнетизма значительно подвинулось вперед благодаря открытию изменчивости магнитного отклонения в одном и том же месте*. В 1625 г. *ГЕНРИ ГЕЛЛИБРАНД* (1597— 1637 г., бывший сначала пастором в Кенте, а позднее профессором астрономии в Лондоне) провел в одном из лондонских садов полуденную линию, и при помощи длинной магнитной стрелки наблюдал изменения в отклонении, или вариацию, по удержавшейся до сих пор у моряков терминологии. Сличая свои наблюдения с прежними, он нашел, что магнитное отклонение в Лондоне идет на убыль, и заключил отсюда об его изменчивости вообще. Свое открытие Геллибранд напечатал в работе: «*A discourse mathematical on the variation of the magnetic needle*» (Лондон, 1635). Французы еще раньше наблюдали подобное явление, но не обратили на него внимания; в мореходной же Англии открытие произвело огромную сенсацию, а затем вызвало целый ряд точных наблюдений.

Настоящий период был одним из благоприятнейших для магнетизма, а ближайшее знакомство с этой своеобразной силой и ее всеобщее распространение возбуждали живой интерес. Долгое время видели магнетизм в каждом необъяснимом взаимодействии между телами; вскоре, однако, пришлось убедиться, что, невзирая на накопление эмпириче-

МЕРСЕНН. РАБОТЫ В ОБЛАСТИ АКУСТИКИ 115

ского материала природа этого явления все еще оставалась невыясненной. Тогда наблюдатели ограничились столь важным для мореплавания исследованием явлений земного магнетизма, оставив в стороне теоретические построения до тех пор, пока ближайшее знакомство с электрической силой не указало ясно на ее сродство с магнитной.

Роль научного журнала, ученой академии для математики и естествознания играл в первой половине XVII в. «теолог-естествоиспытатель» МЕРСЕНН. Он находился в постоянных сношениях с выдающимися учеными своего времени, с Галилеем, Декартом, Гассенди, Робервалем, Гоббсом и др., был посредником при обмене их взглядов, возбуждал и поддерживал общий интерес к научным вопросам. Им был также впервые введен обычай выдачи премий за научные сочинения на известную тему, — обычай, вызвавший столь сильное движение в ученых кружках при великих Бернулли и перенятый затем всеми учеными академиями с некоторыми видоизменениями. Марен Мерсенн родился в 1588 г. в Сутиере, в Мэнском округе, воспитывался в иезуитской коллегии La Flèche, поступил впоследствии в орден миноритов и умер в 1648 г. Не будучи крупным физиком или математиком, он, однако, не только живо интересовался всеми науками, но и оказывал положительные услуги физике разумным ведением опытов и тщательной опытной проверкой теорий великих людей своего времени. Монтюкла (в своей «Истории математики») находит у него «целый океан» наблюдений всякого рода, но не скрывает, что многие из них носят детский характер. Главные сочинения Мерсенна: «*Harmonie universelle*» (Париж, 1639) и «*Phaenomena hydrauliko-pneumatica*»¹. Наиболее выдающимися являются его акустические работы.

Подобно Галилею и Бэкону, Мерсенн ставит различие тонов в зависимость от различного числа колебаний, совершаемых звучащими телами в равные времена, и после целого ряда опытов приходит к следующим законам: числа колебаний однородных струн при равных длинах и толщинах относятся между собой, как квадратные корни из их натяжения; при равных толщинах и натяжениях они обратно пропорциональны длинам, а при равных длинах и натяжениях они обратно пропорциональны квадратным корням из их толщин. Из этих законов (из которых, однако в третьем нужно поставить просто толщину вместо квадратного корня) он затем выводит абсолютное число колебаний для тонов. Струна в 15 футов длины, натянутая грузом в $6\frac{5}{8}$ фунта, дает 10 колебаний в секунду, отсюда струна в $\frac{3}{4}$ фута длины должна, при прочих равных условиях, давать 200 колебаний в секунду. Тон, издаваемый последней струной, Мерсенн предложил положить в основание всей системы тонов, но его предложение было оставлено без внимания. Другого своего открытия он сам не сумел оценить по достоинству. Именно, он заметил, что одна звучащая струна заставляет звучать и другую даже в том случае, когда последняя отстоит от нее на октаву или квинту, и что таким образом струна способна издавать сверх свойственного ей тона еще два других, высших. Этим обер-

¹ Последнее представляет часть обширного сочинения «*Cogitato physico-mathematica*, Париж, 1644—1647.

116 КАЧАНИЯ МАЯТНИКОВ И СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ

тонам не придавал значения ни Мерсенн, ни Галилей, наблюдавший то же явление. *Скорость распространения звука* была впервые определена Мерсенном, причем он воспользовался способом, предложенным Бэконом, а именно, он измерил промежуток времени между моментами появления пламени и звука при выстреле из ружья. Этим путем он определил скорость звука равной 1380 футам.

В прочих своих физических исследованиях Мерсенн был менее счастлив. Он проверил *законы качания маятников* и нашел их верными. Затем он захотел убедиться, *действительно ли движение маятника при подъеме настолько же замедляется, насколько оно ускоряется при падении*, но не смог придти к какому-либо результату. Столь же безуспешны были его опыты *сравнения движения маятника со свободным падением*. Тут он нашел столь большие расхождения, что чуть было не усомнился в правильности галилеевских законов движения; однако, по счастью для себя, он не решился придавать своим цифрам, основанным на довольно грубых оценках, большого значения. Равным образом ему не удалось провести сравнения *между ударом и свободным падением* (в опровержение взглядов Галилея), причем он давал падать телам с разной высоты на чашку весов. Именно он нашел *действие удара пропорциональным произведению веса на простую скорость* (вместо квадрата скорости). Его друг Декарт, введенный в заблуждение этим результатом, тоже принимал указанное выше отношение за общую меру силы. *Изучая движение жидкостей*, Мерсенн пришел к одинаковым выводам с *Торичелли* (работы которого уже были опубликованы в это время). Впрочем, он правильно заметил, что *водяная струя, вытекающая из сосуда, вследствие сопротивления воздуха не может описывать идеальной параболы; и в том же сопротивлении воздуха он верно угадал причину, почему водяная струя, поднимающаяся вертикально, не может достигнуть первоначального уровня в сосуде*. Далее, сопротивлением воздуха: он объясняет раздробление водяных частиц в водяную пыль, но вместе с тем, точно позабыв о сопротивлении воздуха, утверждает, будто капли дождя падают медленнее одинаковых с ними по весу твердых тел вследствие того, что воздух проникает в жидкие тела, частицы которых не представляют тесного сцепления, между тем как в твердые тела он проникнуть не может.

В своих «*Phaenomena*» Мерсенн еще не имеет понятия о давлении воздуха, а так как *hoggo vacui* ему не по душе, то он изобретает *теорию крючков, которыми частицы воздуха тянут воду вверх в насосах*. Мысль эта настолько несообразна, что даже в то время не могла встретить какого-либо сочувствия.

Вильде¹ называет *оптические исследования* Мерсенна сухой компиляцией давно известных законов, по большей части без доказательств. Тем не менее, ученый теолог чуть не сделался изобретателем *зеркального телескопа*. В 1616 г. иезуит *Никколо Цукки* (1580—1670 гг.), глядя сквозь рассеивающую чечевицу в вогнутое зеркало, заметил увеличение отдаленных предметов. В 1644 г. Мерсенн предложил проделать в параболическом вогнутом зеркале отверстие не шире зрачка

¹ Geschichte der Optik, I, стр. 290.

СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ. КАСТЕЛЛИ. ТОРИЧЕЛЛИ 117

и сквозь это отверстие смотреть во второе значительно меньшее вогнутое зеркало; оба зеркала должны были помещаться в трубке с вычерненными стенками для устранения боковых лучей. Декарт, которому он сообщил свой план, дал о нем скептический отзыв, что заставило Мерсенна отказаться от своей мысли.

Прямым преемником Галилея был наиболее выдающийся из учеников его, Торичелли. *ЕВАНГЕЛИСТА ТОРИЧЕЛЛИ* родился в Фаонце 15 октября 1608 г. Его первым учителем математики был Кастелли в Риме, а первое сочинение было вызвано галилеевским «Discorsi». Кастелли показал это сочинение Галилею при одном из своих посещений, вследствие чего тот пригласил молодого ученого приехать к нему и помочь ему при окончании его работ. Торичелли, однако, мог попасть в Арчетри не раньше октября 1641 г. и потому недолго пользовался обществом и указаниями великого человека, в то время уже совершенно слепого. После смерти Галилея он получил место придворного математика во Флоренции, и если когда-либо преемник был достоин гениального своего предшественника, то это имело место именно в данном случае. К несчастью, жизнь, начавшаяся столь блестяще, продлилась недолго: Торичелли умер во Флоренции в 1647 г.

Сочинение, которое Кастелли показывал Галилею, было напечатано в 1641 г. во Флоренции под заглавием: «*Trattato del moto dei gravi*». В 1644 г. оно вышло и в латинском переводе под заглавием: «*De moto gravium naturaliter descendenthim et projectorum libri duo*». В своей работе Торичелли, во-первых, защищает закон Галилея, по которому при свободном падении приобретенные скорости пропорциональны истекшим временам против перипатетиков, утверждающих, что скорости пропорциональны пройденным пространствам; далее он подтверждает галилеевские законы о линиях полета и затем переходит к своим знаменитым исследованиям *об истечении жидкостей из сосудов*. Его учитель Кастелли ¹ еще в 1628 г. издал сочинение «*Della misura dell' acque correnti*», в котором разбиралось движение воды по руслу рек и каналов, а также скорость истечения воды из свободных отверстий. Кастелли правильно определил *скорости жидкостей в естественных каналах обратно пропорциональными поперечному разрезу в соответствующих местах*, но ошибся в том, что принял скорость истечения воды из отверстия сосуда прямо пропорциональной высоте уровня. Торичелли исправил эту ошибку, доказав, что количества воды, вытекающей из отверстия в дне сосуда в равные времена, относятся между собой, как ряд нечетных чисел, если принять количество, вытекающее в последнюю единицу времени, равным единице. Следовательно, скорость истечения убывает обратно пропорционально ряду нечетных чисел, другими словами: скорости истечения относятся между собою так же, как скорости брошенного вверх тела. Отсюда же следует, что *водяная частица вытекает из отверстия со скоростью, равной той, которую она приобрела бы, свободно падая вниз со своей первоначальной высоты над отверстием*. Но так как приобретенные скорости пропорциональны квадратным корням из пройденных путей,

¹ Бенедетто Кастелли родился в 1577 г. в Брешии, был профессором математики в Риме; умер там же в 1644 г.

118 ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА

то скорости истечения не могут быть пропорциональны высотам уровня и *пропорциональны лишь квадратным корням из этих высот*. Из этого закона путём сравнения с законами свободного падения вытекают дальнейшие «положения: *водяная струя, бьющая из бокового отверстия, имеет форму параболы*; при отверстиях равной величины количества, вытекающие в равные времена, относятся между собой, как квадратные корни из высот уровней; точно так же относятся между собой времена истечения в сосудах с равным поперечником и равным вытечным отверстием; наконец, *из короткой вертикальной трубы, сообщающейся с сосудом, вода должна выбрасываться до той же высоты* (не принимая в расчет других сопротивлений), *на которой она стоит в сосуде*.

Но более всех этих важных открытий прославился Торичелли опытами, доказавшими существование давления воздуха. У него самого не оказалось возможности описать своих исследований, но последние были столь поразительны и так глубоко проникли в общественную жизнь, что имя изобретателя уже не могло быть забыто, оно вскоре приобрело громкую известность даже в широкой публике, вообще мало интересующейся законами механики. Торичелли знал от своего учителя, Галилея, что вода в насосах не может быть поднята выше чем на 32 фута, и был знаком с его взглядами на *horror vacui*. Считая, что дальнейшие опыты с таким высоким водяным столбом трудно выполнимы, а также по ряду других соображений он пожелал выяснить, *не будет ли какая-либо другая, более тяжёлая жидкость способна противостоять «боязни пустоты» при меньшей высоте столба*. Всего удобнее для этой цели показалась ему ртуть, которая уже при высоте с 32/13 фута, или в 28 дюймов, должна была уравновешивать *horror vacui*, если последний действительно представлял определенную силу, как это думал Галилей. Торичелли сначала не производил этих опытов лично, а поручил это исследование своему ученику Винченцо Вивиани, который, наполнив длинную запаянную с одного конца стеклянную трубку ртутью и опрокинув ее открытым концом в широкий сосуд с ртутью, нашел в 1643 г., *что ртутный столб в трубке, опустившись до высоты 28 дюймов, остался неподвижным*. После такого результата Торичелли взялся сам за производство этих опытов, проявляя при этом поистине гениальную изобретательность. Первый опыт доказывал, по-видимому, не больше того, что давали водяные насосы. *Если вообще для боязни пустоты Галилеем была указана граница, то последняя, очевидно, зависела не от определенной высоты, а от определенного давления, и опыт с ртутью не доказывал ничего большего*. Но затем Торичелли высказал мысль, что *horror vacui, ограниченный пределами, далее которых природа в своем отвращении идти не может, представляет собою чистейший абсурд*, и причину поднятия жидкостей в безвоздушных пространствах он приписал непосредственно давлению воздуха. Вслед за этим он тотчас же приступил к определению величины воздушного давления. На это есть ясные указания в письме его к Риччи (впоследствии корреспонденту флорентийской академии) от 1644 г., где говорится, что опыты были предприняты им не просто для получения безвоздушного пространства, но главным образом в расчете

ИЗОБРЕТЕНИЕ БАРОМЕТРА 119

устроить прибор, способный указывать изменения состояния воздуха, который бывает то тяжелее и плотнее, то легче и реже.

Торичелли, следовательно, успел убедиться, что ртуть изменяет свои уровень и трубке, и это наблюдение по всей вероятности и побудило его заменить боязнь пустот давлением воздуха. Действительно, пока дело ограничивалось тем, что сила, поддерживающая водяной столб в 32 фута, способна удержать и ртутный столб в 28 дюймов, не было никаких поводов изменять прежний взгляд на эту силу. Когда же удалось подметить колебания в величине этой силы, представление об *horror vacui* должно было пасть само собой. Нельзя же в самом деле приписывать природе свойство *капризной кокетки* — *изменчивость в своих симпатиях и антипатиях*, даже в том случае, когда мы допускаем наличие у природы определенного «отвращения»¹. Мы, со своей стороны, должны, однако, заметить, что *хотя мысль о боязни пустот устраняется наблюдением колебания ртутного уровня*, но этим еще не доказывается, что воздушное давление является прямой причиной этого явления. Представление о давлении воздуха для нас теперь настолько естественно, что мы не постигаем самой возможности отрицать его; но для того времени в нем была мудреная сторона, так как дело шло о силе, которая тяготеет над нами и которой мы в то же время не ощущаем. Что же касается колебания воздушного давления, то эта проблема и теперь заключает в себе трудности даже для таких людей, которые полагают, что они раз навсегда покончили с вопросом о давлении воздуха. Торичелли нашел для своих воззрений прочную точку опоры в своих опытах и уже больше к ним не возвращался до ранней своей смерти. Для публики вопрос окончательно выяснился только после того, как Паскаль открыл связь между барометрической высотой и высотой места, а еще более после опытов с *магдебургскими полушариями*, противопоставившими давлению воздуха лошадиные силы.

Нельзя *не удивляться равнодушию*, с которым Торичелли относится к образованию *пустого пространства*. Поглощенный мыслью о воздушном давлении, он как будто не сознает важности и пользы безвоздушного пространства. Тем сильнее повлияло открытие торичеллиевой пустоты на других. Спор о существовании пустого пространства занимал умы со времен Аристотеля и древних атомистов. В разбираемое нами время были не прочь вывести на арену барометрическую пустоту как представительницу абсолютно пустого пространства, и противникам последнего приходилось плохо. Между тем торичеллиева пустота оставалась пока неприменимой к практике, так как ее еще не сумели сделать доступной для опытов. Задачу создания пустого пространства, в котором можно было бы производить опыты, осуществил *Герике*².

¹ Поггендорф («Gesch. d. Physik». стр. 324) явно недооценил значение этого наблюдения, которое может быть произведено лишь с помощью барометра, заявляя, что, по существу, барометр не в большей степени доказывает наличие воздушного давления, чем водяной нанос.

² Из приборов, принадлежавших Торичелли, сохраняются во Флоренции один телескоп и две барометрические трубки (Gerland, Leopoldina, H. XVIII, 1882).

120 ЖИЗНЬ И СОЧИНЕНИЯ ДЕКАРТА. ЕГО ФИЛОСОФСКАЯ СИСТЕМА

РЕНЭ ДЕКАРТ (Renatus Cartesius) родился в 1596 г. в La Hay, в Турени. Отец его был парламентским советником в Ренне, а семья принадлежала к древнейшей местной аристократии. Восьмилетний мальчик, лишившийся матери при рождении, был отдан в иезуитскую коллегию La Flèche в Анжу, где он с самого начала усердно занимался математикой. С 1612 по 1616 г. Рэне Декарт провел в Париже, первые два года предаваясь столичным удовольствиям, а два следующие — в уединении в Сен-Жерменском предместье, изучая преимущественно математику. В 1617 г. он уехал в Голландию, где служил в армии штатгальтера Морица Нассауского, а в 1619 г. принимал участие в тридцатилетней войне в армии курфюрста Баварского. Затем Декарт объездил почти всю Европу; но с 1629 г. он жил большей частью уединенно в разных местах Голландии. До 1629 г. он пробовал различные занятия; с этих пор он отдался целиком философии. В 1637 г. вышло в свет его первое сочинение: *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences. Plus la dioptrique, les météores et la géométrie, qui sont des essais de cette méthode*» (Лейден, 1637), содержащее изложение нового метода философского мышления и доказывающее плодотворность этого метода в применении к диоптрике, огненным воздушным явлениям и геометрии. Геометрический отдел сочинения заключает в качестве важнейшего открытия Декарта его *аналитическую геометрию*; к метеорам и диоптрике мы еще вернемся. Четыре года спустя Декарт изложил по новому методу свою метафизику в *«Meditationes de prima philosophia in quibus Dei existentia et animae humanae immortalitas demonstratur»* (Амстердам, 1641).

Подобно Бэкону в «Novum organon» и Декарт отзывается презрительно о современной ему науке и остается более или менее неудовлетворенным всеми отраслями знания. Везде находит он шаткость и заблуждения и, подобно Бэкону, корень зла видит в ложном методе наук. Правильный метод — насущная необходимость; отсутствие его — достаточная причина для всякого рода ошибок. «Здравый рассудок распределен на свете лучше всего, ведь каждый воображает себя наделенным им в надлежащей пропорции, так что, например, люди весьма привередливые в других отношениях, бывают обыкновенно очень довольны своим умом и не желают большего; но дело не в одном здравом рассудке, крайне важно еще хорошее применение его». Но когда вслед за этим он переходит к изложению своего метода, между ним и Бэконом начинается резкое расхождение, даже можно сказать прямая противоположность. Метод Декарта опирается на четыре основных правила: 1) Не считать истинным ничего, что не представляется ясно и отчетливо. 2) Разлагать каждый вопрос, подлежащий рассмотрению, на столько более простых частей, на сколько это возможно и необходимо. 3) Начинать с самых простых и легких предметов. 4) Перечислять все сполна, не просмотреть чего-либо, чтобы предохранить себя от всяких ошибок. Согласно первому своему правилу Декарт и начинает свою философию с сомнения во всем, что ему доселе казалось истинным, и после всесторонней проверки он находит по существу своему только одно положение достоверным, а именно

ФИЛОСОФСКАЯ СИСТЕМА ДЕКАРТА 121

знаменитейшее положение картезианской философии — *cogito, ergo sum, я мыслю, стало быть* — существую. Мои чувства нередко обманывают меня; я вижу сны, не имеющие реальной основы; мои представления о внешнем мире столько же могут быть истиной, сколько иллюзией; одно только не подлежит сомнению — я мыслю, я мыслящее существо. От этого единственного положения Декарт переходит к *познанию бога*. Я нахожу в себе идею бесконечной субстанции; идея эта не может иметь своей причины во мне одном, так как я субстанция конечная. Она должна иметь причину в бесконечной субстанции, которая должна быть своей собственной причиной и вместе с тем причиной всех конечных существ, следовательно, и причиной и меня самого. Таким образом, бытие бога как бесконечной субстанции столь же достоверно или даже достовернее моего собственного бытия. Но *из понятия о боге вытекает вся достоверность моего познания*. Бог должен быть олицетворением правды, отсюда следует, что он создал нас не для лжи и обмана; а стало быть, все, познаваемое нами ясно и отчетливо при посредстве разума, данного нам от него, должно быть истинным. Таким образом, бытие божие обуславливает достоверность нашего познания. Это краеугольный камень всего здания картезианской теории познания. *Все познанное нами ясно и отчетливо, должно быть достоверно и истинно*, насколько достоверно бытие истинного бога и наше собственное. Несмотря на это, у Декарта нельзя не заметить ощущения некоторой ненадежности нашего познания. Впрочем, для философии эта тень неуверенности была полезна, сообщив ей с самого начала в руках самого Декарта критическое направление. Для физики же она была невыгодна, так как философ естественно должен был ставить достоверность наблюдения гораздо ниже достоверности чистого мышления. Главнейшие результаты своего мировоззрения Декарт изложил в своем капитальном труде «*Principia philosophiae*» (Амстердам, 1644). *Первая часть представляет повторение «Meditationes» и изложенных в них основ познания; вторая заключает учение о материи и ее свойствах; в третьей изложено исследование о строении вселенной; четвертая посвящена земле*. Декарт попробовал 'Применить свой метод и к учению о нравственности, чему и посвящено сочинение «*Les passions de l'ame*» (Амстердам 1650). Сочинение это предназначалось первоначально для принцессы Елизаветы Пфальцской, ученицы Декарта. В 1647 г. философ послал свою книгу королеве шведской Христине, с которой завязал знакомство через посредство шведского посла. Королева, прочитав книгу, пригласила автора приехать в Стокгольм, и он последовал ее приглашению в 1649 г., быть может, с целью избавиться от тягостных споров с теологами протестантской Голландии. Недолго пришлось ему, однако, пожить в Стокгольме; через четыре месяца после своего приезда он заболел тяжелой болезнью, которая унесла его в могилу 17 февраля 1650 г. Собрание сочинений Декарта издавалось неоднократно на латинском и французском языках, но *лучшим следует признать французское издание, которым руководил Виктор Кузен, 1824—1826*¹. Оно

¹ В настоящее время имеется издание сочинений Декарта, более тщательное, чем кузеновское, изобилующее ошибками, особенно в части переписки. Это наилучшее издание Декарта выпущено Адамом и Таннери. (*Прим. ред.*).

122 ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ. УДАР

состоит из 11 томов и, сверх писем, содержит несколько недоконченных рукописей, из числа которых упомянем только о наскоро набросанном в 1636 г. трактате, относящемся к механике.

Перейдем теперь к физическим теориям Декарта, изложенным в его «Началах философии». От всех свойств, познаваемых нами в телах, можно отрешиться, за исключением протяжения. Поэтому *природа материального тела заключается в протяжении и только в протяжении*. Следовательно, не существует ни пустого пространства, ни атомов. (Мы, однако, увидим, что, несмотря на это, учение Декарта сильно приближается к атомистике.) Такое определение материи прямо уничтожает старое различие между земными и небесными телами, потому что материя, существо которой заключается в одной протяженности, должна безразлично наполнять собою все мировое пространство. *Движение тела есть переход его из соседства соприкасающихся с ним тел в соседство других*. Понятие о движении предполагает, следовательно, безусловную взаимность: когда, например, тело *A* удаляется от тела *B*, то вполне правильно будет сказать, что и тело *B* удаляется от тела *A*. Отсюда вытекает важное положение, что *движению не соответствует больше действия, нежели покою*; и далее, что *всякое тело может иметь одновременно несколько движений и каждое движение можно считать составленным из многих других*. Последняя причина всех движений есть бог; так как, однако, бог неизменен, то и количество движения, содержащееся во вселенной, должно быть неизменно. (Таково своеобразное декартовское доказательство сохранения энергии). Из положения, что покою и движению соответствует одинаковая величина действия, вытекает во всей его полноте закон инерции: *всякое тело остается в своем состоянии покоя или движения до тех пор, пока внешняя причина не изменит этого состояния*. Кроме того, здесь еще специально прибавляется, что при отсутствии внешнего сопротивления движущееся тело сохраняет раз навсегда и свое первоначальное направление. Несмотря на изложенное выше, Декарт далее выводит свой третий закон движения, поразительно неверный во второй своей части; именно, *каждое тело, сталкиваясь с другим, теряет столько собственного движения, сколько сообщает его другому, если вообще способно сдвинуть его; в том же случае, когда сопротивление второго тела превосходит силу первого, первое тело сохраняет полностью свое движение и только уклоняется от своего первоначального направления*. Из этого закона движения Декарт выводит для удара совершенно твердых (неопределенное выражение для совершенно упругих тел 7 правил. 1) Два равных тела *B* и *C*, с одинаковыми, но противоположными скоростями, отскакивают друг от друга после удара с обратными скоростями. 2) Если тело *B* хоть несколько больше *C*, то оба тела после удара движутся дальше по направлению *B* с одинаковыми скоростями. 3) Если *B* и *C* равны по величине, но *B* обладает большей скоростью, то *B* отдает *C* половину своего излишка скорости. 4) Если *C* находится в покое и немного больше *B*, то *C* остается неподвижным, *B* же отскакивает от него с противоположной скоростью. 5) Если при тех же условиях *C* меньше *B*, то оба тела будут продолжать двигаться с одинаковыми скоростями, причем *B* отдаст *C* излишек своей скорости

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ТЕЛ. СИСТЕМЫ ВСЕЛЕННОЙ 123

соразмерно массам тел. 6) Если при тех же условиях B и C равны, то C движется в направлении B , B же отскакивает; при этом скорости распределяются соответственно массам. 7) В седьмом правиле Декарт рассматривает случай, когда B и C имеют скорости одинакового направления, и дает, соответственно отношению скоростей, различные указания для определения движения после удара. Из всех приведенных 7 правил, ни одно не оказывается вполне верным при данных условиях, но особенно резко бросается в глаза непостижимая ошибочность средних правил. Происходит это от того, что декартовский закон передачи движений верен только в первой своей части и что он не достаточно строго отличает упругие тела от неупругих и, наконец, — в чем, быть может, кроется корень всех ошибок, — что Декарт не имеет понятия о превращении внешнего движения во внутреннее (молекулярное) и не может ни при каких условиях допустить уничтожения внешних движений. Монтюкла (в своей «Истории математики») удивляется только добронравно декартовских учеников, которые принимали на веру эти положения. Сам Декарт считал себя вполне обеспеченным против возражений, прибавив после изложения своих 7 правил, что абсолютно твердых тел не существует и что, следовательно, эти законы никогда не могут оказаться вполне правильными при опытной их проверке.

Так как сущность тел составляет одно протяжение, то Декарт не считает себя вправе приписывать им каких бы то ни было внутренних сил, ни отталкивательных, ни притягательных. Немыслимо также предположение о склеивании частиц тела между собой; поэтому единственной причиной сцепления частиц может быть инерция материи, и сопротивление, оказываемое телом разъединению его частиц, не может быть ничем иным, как косным сопротивлением материи. В жидкостях подобного сопротивления не замечается, потому что их частицы находятся в непрерывном движении. Твердое же тело, погруженное в жидкость, не претерпевает никаких изменений от движения частиц жидкости, ни в своем покое, ни в своем движении, так как направленные на него удары этих частиц взаимно уничтожаются. Если твердое тело так трудно разбивается или разламывается, то это происходит от того, что оно сопротивляется движению как целое, руки же наши способны действовать лишь на отдельные части тела.

Из различных систем вселенной птолемея, по мнению Декарта, отвергнута с полным основанием. Системы Коперника и Тихо де-Браге почти одинаково хороши, хотя первая имеет преимущество большей простоты. Он, однако, имеет в виду дать новую гипотезу, которая еще проще и вместе с тем лучше. Декарт во всех случаях называет свою систему вселенной только гипотезой. Уже в своем «Discours» он говорит: «Чтобы иметь возможность выражать свои мнения свободно, не следуя воззрениям, господствующим между учеными, и не опровергая их, я решил предоставить им земной мир для всяких препирательств и рассуждать только о том, что могло бы происходить в совершенно ином и новом мире, если бы бог в каком-либо другом месте пространства сотворил новое количество материи, достаточное для образования мира, и сообщил различным частям этого вещества

124 ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ РОДЫ МАТЕРИИ. ВИХРИ

разнообразные движения. Затем богу оставалось бы только распространить свою обычную помощь на эту новую природу и позволить ей развиваться по ее собственным законам». Очевидно, впрочем, что здесь он только имеет в виду избежать пререканий с учеными и наладок со стороны теологов¹; сам же он приписывает своей гипотезе наибольшую достоверность.

Вначале мир был наполнен материальными частицами однородного вещества и одинаковой средней величины. Этот океан материи находился в покое, но был разделен на множество приблизительно шаровидных вихрей, вращавшихся около своих осей. Отдельные частицы материи не могли быть вначале шаровидными, иначе они не наполнили бы пространства; но постепенно, шлифуясь друг от друга в вихреобразном движении, они приняли шаровую форму. С тех пор во вселенной оказалась двоякого рода материя, именно шаровидные частицы (Декарт называет их частицами второго элемента) и отщепившиеся от них при трении гораздо меньшие осколки — частицы первого элемента, наполнившие промежутки между частицами второго элемента. Незначительное вначале количество частиц первого элемента постепенно увеличивалось по мере трения между собой частиц второго элемента, и так как количество их, наконец, превзошло количество, потребное для заполнения промежутков, то этот излишек материи устремился к центру вихря и образовал здесь тончайшее жидкое тело, центральное тело вихря. Этот процесс был облегчен тем, во-первых, что шаровые тельца второго элемента постепенно уменьшались в объеме вследствие трения: во-вторых, тем, что вследствие сравнительно большого своего размера они стремились наружу сильнее частиц первого элемента, так что в центре вихря оставалось свободное пространство для первого элемента. Дело в том, что всякая составная часть вихря проявляет, подобно камню в праще, стремление удалиться от центра к периферии, причем стремление крупнейших частиц здесь одерживает верх. Ни одна частица второго элемента не может, однако, просто следовать этому стремлению, так как внутренняя частица задерживается наружными, а наружные оттесняются назад частицами соседних вихрей. Тем не менее, давление центрального ядра, во всяком случае, там, где лежит тесно сплоченное вещество первого элемента, все-таки распространяется по всему вихрю прямолинейно к периферии, действуя также и на соседние вихри. Это давление глаз ощущает в виде света, и этой гипотезой могут быть объяснены все особенности световых явлений.

Соприкасающиеся вихри в небесном пространстве взаимно влияют друг на друга и вынуждены приспособить свои движения таким образом, чтобы в наименьшей степени мешать друг другу. Последнее осуществимо лишь в том случае, когда полюсы одного вихря лежат близко к экваториальным областям другого; действительно, если бы вихри соприкасались полюсами, то при одинаковом направлении вращения они должны были бы слиться, а при противоположном — в высшей

¹ Декарт уже в 1633 г. почти закончил «Систему мира», но, услышав о приговоре над Галилеем, отложил издание своего трактата.

ТРЕТИЙ РОД МАТЕРИИ. ОБРАЗОВАНИЕ ПЯТЕН. КОМЕТЫ 125

мере тормозить друг друга. Давление во вне, обусловленное вращением, бывает в каждом вихре всего сильнее у экватора и всего слабее у полюсов. Следовательно, когда сталкиваются экватор и полюс двух вихрей, то давление первого будет вообще (оно зависит также от величины вихрей) больше давления второго вихря, и материя будет переходить из первого во второй. Переходящее вещество будет по преимуществу веществом первого элемента, так как оно обладает меньшей инерцией и легко проникает сквозь промежутки шаровых телец второго элемента. Итак, в *каждом вихре вещество первого элемента втекает по направлению оси и вытекает по направлению экватора*. Вещество первого элемента, поступающее из чужого вихря, производит давление на круглые частицы второго элемента и вызывает, таким образом, ощущение света в глазу, что создает возможность (но не гарантирует ее во всех случаях) видеть чужие центральные тела.

Когда частицы первого элемента проходят через вихрь в направлении оси, то поток их должен принимать *трехгранную форму*, так как промежутки между шариками второго элемента представляют такое очертание; так как, далее, вихрь во время их прохождения вращается, то они должны *завиваться улиткообразно* и притом в противоположных направлениях в зависимости от направления, в каком поток проходит через толщу вихря¹. Пока частицы первого элемента находятся в промежутках между шариками второго элемента, их форма остается без влияния; но, сплотившись в пространстве центрального ядра, *они должны слиться и образовать большие массы*, которые (вследствие давления изнутри наружу) будут выступать из центрального ядра близ экватора. Эти *менее подвижные массы составляют новый третий элемент*. Когда на поверхности центрального ядра образуется островок такой массы, то он становится препятствием для удара частиц центрального ядра на окружающие шарики вихря. Удар этот относительно весьма силен, потому что все однородные частицы центрального ядра действуют совместно; при его местном задержании давление наружу в данном месте значительно ослабляется, и *свет центрального ядра в свою очередь сильно затемняется или даже уничтожается лежащим над ним пятном*. Однако ослабление внешнего давления под влиянием образовавшиеся массы еще значительно. Одновременно с наружным давлением уменьшается и сопротивление вихря давлению соседних вихрей; частицы соприкасающихся с ним вихрей будут, следовательно, проникать в него, уносить с собой его частицы и таким образом отнимать у него большее или меньшее количество вещества. Если центральное ядро сплошь покроется островками, то может даже случиться, что один вихрь будет совершенно поглощен другим, сильнейшим, и *центральное ядро первого целиком поступит внутрь второго вихря*. Поступательное движение поглощаемого ядра зависит от его плотности и массы; если они настолько велики, что угасшее центральное ядро может пройти сквозь вихрь, то оно превращается в *блуждающую звезду или комету*; в противном случае вихрь увлекает его за собой и водит во-

¹ Это имеет значение для позднейшего объяснения магнитных явлений.

круг своего центрального ядра; в таком случае оно становится его спутником — планетой.

Теперь декартовская система вселенной становится для нас ясной. Каждый вихрь представляет собой солнечную систему; центральное ядро ее, солнце, состоит из частиц первого элемента, только солнечные пятна принадлежат третьему элементу; самый же вихрь состоит из шариков второго элемента. Подобный вихрь мог поглотить несколько потухших неподвижных звезд; так образовались его планеты, сохраняющие следы кругового движения своего первоначального вихря во вращении около оси и, быть может, в свою очередь поглотившие некогда другие центральные ядра, следовательно, имеющие собственных спутников. По этой системе земля, подобно всем планетам, вращается вместе с общим небесным мировым веществом нашего вихря около оси нашей солнечной системы; отсюда же следует, что *ни земля, ни прочие планеты не имеют, строго говоря, собственного движения*. Ни одна планета не удаляется из соседства соприкасающегося с нею мирового вещества; напротив, время от времени от планеты отделяется та или другая частица жидкого мирового вещества с движением, свойственным ей самой, а не планете. Стало быть, земля не движется, и противники коперниковой системы могут не предпринимать гонений против Декарта.

Рассмотрев систему вселенной, Декарт переходит к земле; *если и до сих пор он не обнаружил робости при построении гипотез о формах материи, то здесь он становится в этом отношении еще смелее и плодовитее*. Мельчайшие частицы, недоступные наблюдению, щедро наделяются углами и ветвями, и лишь только в объяснении встречается какая-нибудь заминка, на выручку тотчас же у частиц вырастает новый отросток. Мы не имеем возможности следить за всеми этими превращениями и должны еще короче прежнего рассмотреть частности декартовской теории. *Земля во внутреннем ядре своем состоит из частиц первого элемента* (остаток ее первоначальной роли центрального светила); *затем следует сплошная темная оболочка частиц третьего элемента, образовавшаяся при охлаждении из темных масс или пятен*. Об этих составных частях земли мы ничего дальнейшего не узнаем. *За этими внутренними слоями следует внешняя земная кора, образовавшаяся из осколков второй оболочки и смешанная со многими мировыми частями*. Вследствие того, что земная материя сплотилась в большие массы, она не так легко поддается давлению наружу, обусловленному вращением земли, как мировое вещество, примешанное в нашей планете к земному. Мировое вещество не может выйти из земли в совершенно наполненные материей небесные пространства, не отесняя других веществ книзу, т. е. к центру земли. А так как мировое вещество повсеместно проявляет стремление наружу, а земное вещество везде уступает ему, то отсюда следует, что земное вещество должно повсеместно отесняться к центру планеты; это явление и есть то, что мы называем тяжестью. *Тяжесть не есть, следовательно, какое-либо присущее веществу стремление, а лишь обратный толчок, производимый на земную материю мировыми шариками, удаляющимися от центра*. Приливы и отливы объясняются Декартом, как

и следовало ожидать, не притяжением луны, но суживанием земного вихря в том месте, где находится луна. Так как вся вихреобразно вращающаяся небесная материя должна проникнуть между землей и луной, то она естественно оттесняет в этом месте морскую воду назад и тем производит отлив¹.

Воздух представляет скопление частиц третьего элемента, настолько утонченных и удаленных друг от друга, что они следуют за всеми движениями небесной материи. От теплоты воздух разрежается. Дело в том, что теплота есть колебание земных частиц, обусловленное ударом мировых шариков; когда колебание усиливается, то частицы, длина которых вообще превосходит их ширину, требуют большого пространства; вследствие этого все тела, равно как и воздух, расширяются от действия теплоты. А так как, далее, везде существует известное количество тепла, везде существует движение частиц, то этим же объясняется упругость тел и, главным образом, упругость воздуха. О том, что верхняя земная оболочка содержит в своих промежутках и ходах небесную материю, было уже отмечено; но и вторая земная оболочка пропускает сквозь себя из внутренности земли частицы первого элемента, производящие сотрясение частиц верхних слоев, стало быть, нагревающие их и видоизменяющие в известной степени. Острейшие из происшедших таким образом частиц образуют соль, мягчайшие — серу, самые тяжелые и круглые — ртуть, т. е. три основные вещества химиков. Все земные частицы, следуя в отдельности и порознь быстрому движению первого элемента, имеют форму пламени; следуя же менее быстрому движению шариков второго элемента, — форму воздуха. Из кремня можно выбивать искры всяким твердым телом, заставляя выскакивать наружу шарики второго элемента. Молнии, блуждающие огни, падающие звезды происходят подобным же образом от стремительного падения облаков друг на друга. Вода враждебна огню вследствие того, что состоит не только из более крупных, но и более мягких и клейких частиц. «Ничто не воспринимает огня скорее и не удерживает его меньшее время, чем огнестрельный порох, выделяемый из серы, селитры и угля. Простая сера уже достаточно восприимчива к огню, потому что состоит из частиц острых соков, замкнутых в столь тонкие и дробные разветвления прочей материи, что только первому элементу открыты здесь свободные ходы. По той же причине сера считается в медицине одним из горячительнейших средств». В могильных склепах лампы могут гореть по несколько лет по той причине, что копоть образует маленький свод, внутри которого вещество первого элемента, как в звезде, быстро вращается вокруг самого себя, отталкивая все прочие частицы. Подобным же образом Декарт объясняет и все известные ему явления природы формой материальных частиц, причем, как и Бэкон, он не особенно разборчив в выборе фактов.

Остановимся еще на *магнитной теории* Декарта, так как последняя построена на лучшей фактической основе и может сверх того служить

¹ По теории притяжения прилив поднимается как раз навстречу луне. Но начало прилива опаздывает на несколько часов, так что непосредственное наблюдение прямо не противоречит и теории Декарта.

128 МАГНЕТИЗМ

образом того поразительного искусства, с каким Декарт объясняет все действия на расстоянии непосредственными ударами материальных частиц. Вещество первого элемента внедряется у полюсов каждого вихря и проходит через него в направлении оси, стало быть, проходит и через центральное ядро. При этом оно завивается улиткообразно и, проходя затем через массу третьего элемента, прорезывает в ней соответствующие извилистые каналы. *И земля в качестве бывшего центрального светила имеет подобные же каналы, но только они остались не во всех земных веществах, а соответственно форме мельчайших частиц могли сохраниться открытыми в одном лишь железе.* Через эти каналы проходит вещество первого элемента; но так как они завиты в противоположном направлении, то вещество первого элемента способно проходить по каналам, ведущим от южного полюса к северному, только в случае, если оно уже однажды пронизало вихрь в том же направлении. Но если вещество прошло через землю от одного полюса к другому, то по направлению своих извилин оно не может вернуться назад тем же путем; идти дальше оно также не может, так как воздух, вода и другие тела подобных ходов не имеют; поэтому оно должно обежать землю кругом и проникнуть в нее снова у первого полюса. Теперь, если взять из земли *естественный магнит*, т. е. кусок *железа, в котором прорезаны подобные ходы*, то окажется, что токи первого элемента способны свободно проходить через магнит лишь в том случае, *когда его ходы имеют одинаковые направления с земными*; в противном случае частицы будут попадать в каналы в косвенном направлении и будут стремиться поставить магнит таким образом, *чтобы его ось сделалась параллельной земной оси.* Отношение, представляемое землей «и магнитом, повторяется в малых размерах *на двух магнитах; направляющая сила их, таким образом, объяснена*; что же касается *притягательной силы*, то Декарт выводит ее из обратного толчка частичек при их переходе из магнита в воздух. Различное отношение *мягкого железа и стали, а также ослабление магнита при нагревании* легко объясняется той же теорией.

Декарт, как уже было замечено, называет свою теорию вихрей простой гипотезой, хотя, по-видимому, убежден в ее исключительной достоверности. Пройдя все ступени сомнения в том, что называлось традиционной ученостью, он при помощи основного положения о бытии бога как гарантии своей собственной познавательной силы приобрел полную уверенность в своих силах. Заручившись такой непоколебимой основой, можно было со спокойным духом приняться снова за построение философской теории, не опасаясь, что какое-нибудь возможное открытие ниспровергнет возводимое здание. Прежде всего, следует отвергнуть без всякой опытной проверки все то, что несогласно с нашим определением материи. В самом деле, если бы определение, правильность которого мы познали ясно и отчетливо, оказалось, тем не менее, ложным, то это значило бы, что правдивый бог обманул нас, одарил нас познавательной способностью, которая принимает ложь за истину. С этой точки зрения становится понятным (оставаясь тем не менее, непростительным) следующий отзыв Декарта в письме к своему приятелю Мерсенну: «Галилей, не стараясь про-

НЕВНИМАНИЕ К КОЛИЧЕСТВЕННЫМ СООТНОШЕНИЯМ 129

никнуть в первые причины природы, искал лишь объяснения некоторых действий и строил таким образом без фундамента. Все сказанное им относительно скорости тел, падающих в пустом пространстве, лишено основания. Ему следовало бы, прежде всего, определить природу тяжести, и если бы он узнал, что она такое в действительности, то ему было бы известно и ее отсутствие в пустоте». «Что касается Галилея (пишет Декарт в другом письме), то я должен вам признаться, что никогда не встречал его и не имел с ним сношений; поэтому я не мог ничего позаимствовать от него; да и не нахожу в его книге ничего такого, чему мог бы позавидовать и почти ничего, что желал бы назвать своим»¹.

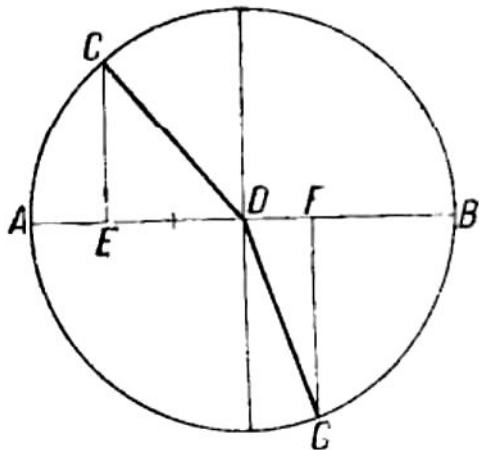
Так как мы в полной мере убедились, что самой материи по природе не может быть присуща какая-либо сила, то единственной достоверной гипотезой мы должны признать теорию вихрей. Останавливаться на приискании доказательств ее правильности нет нужды: достаточно лишь просмотреть, как все вообще явления объясняются, исходя из этой гипотезы, и следует признать, что действительно *возможность подобного объяснения — лучшая проверка гипотезы*. Тут, однако, с нашим философом происходит нечто странное. Декарт, как всякому известно, — *один из виднейших математиков своего столетия*; открытия аналитической геометрии достаточно, чтобы обессмертить его имя; в его оптике, как мы ниже увидим, тоже сказывается *замечательный математический физик*; но *при разработке теории вихрей математический склад мыслей исчезнет в нем бесследно*. Во всей книге нет ни одного точного определения величины. Декарт не интересуется ни действительными величинами масс, ни пространствами, ни скоростями, и это-то убивает его теорию. Для всякой вообще гипотезы нет лучшего подтверждения, как математический вывод из нее количественных отношений и затем опытное доказательство, что такие количественные отношения действительно существуют. Математическая дедукция безусловно надежна: если гипотеза допускает ее и если теоретически выведенные отношения согласуются с результатами фактических измерений, можно сказать, что гипотеза выдержала победоносно строжайшее испытание. *Декарт, напротив, в своей теории вихрей не допускает и мысли о математической проверке; он является здесь исключительно философом, выводящим из своего определения материи все явления внешнего мира*. А так как из основного положения, что «сущность материи состоит только в протяженности», много не выжмешь, то при дальнейшем ходе исследования Декарт вынужден прибегать ко все большему и большему числу вспомогательных гипотез о строении материи. С одной стороны, это удобно, так как прямым опытом нельзя ничего решить по отношению к невидимо мелким частичкам; но с другой стороны, учению грозит роковая опасность, потому что с *нагромождением*

¹ Для механика особенно характерно следующее положение, направленное против Галилея: ясно, что камень не может проявлять совершенно одинаковой наклонности к восприятию нового движения или увеличению своей скорости, в том случае, когда он уже движется с большой скоростью или когда он движется медленно.

гипотез вероятность всей теории постепенно приближается к нулю. Нельзя отрицать остроумия попытки устранить необходимость представления о стремлении всех однородных тел соединиться между собою; не малую заслугу представляет, далее, попытка освободить физику от теории непосредственного взаимного влияния тел. Но как бы то ни было, мировая система Декарта представляла слишком воздушную постройку, чтобы долго продержаться; и лишь только ей противопоставили математически крепкое здание, ее пришлось оставить¹. Однако в свое время воззрения Декарта получили всеобщее и быстрое распространение. Перипатетики при всяком непонятном явлении наделяли материю особым скрытым свойством (Qualitas occulta); небесные тела двигались, например, по кругу, а земные — по прямой линии потому только, что такова была их природа и т. д. Перед лицом таких таинственных свойств теория Декарта имеет непреложные «преимущества. В его системе нет скрытых сил, даже загадочность силы тяжести устранена; в основу выводов положены легко понятные гипотезы о форме материи. Если в то время не обращали внимания на чрезмерное изобилие его гипотез, то в оправдание можно привести то соображение, что лучшего объяснения для многих явлений пока не существовало, и что не была исключена возможность исправления недочетов в будущем. Во Франции, как и в Англии, физика преподавалась некоторое время после смерти Декарта исключительно по его принципам «Traité de Physique» Poro (Rohault), книга вышедшая в свет в 1673 г. и вся основанная на Декарте, считалась основным учебником. Когда Ньютон обнаружил свою систему, ей пришлось выдержать продолжительную борьбу с декартовской, и долгое время перевес оставался на стороне последней.

Перейдем теперь к декартовской теории света, изложенной в приложениях к его «Discours» — в «Диоптрике» и «Метеорах». Ощущение света производится, как мы уже знаем, давлением мировых шариков (шариков второго элемента) на глаз. Учение Декарта занимает, следовательно, середину между теорией истечения и волновой теорией света. Свет не создается волнообразным движением или испусканием светового вещества; он распространяется мгновенно от одного небесного шарика к другому в виде давления, и последнее ощущается глазом в форме света. Подобное давление производится, как мы уже знаем, каждой «неподвижной звездой; но и каждое светящееся земное тело действует подобным же образом, потому что оно, вследствие быстрого движения своих продолговатых мельчайших частиц постоянно давит и толкает окружающие его шарики второго элемента. Декарт полагает также, что и сетчатая оболочка глаза со своей стороны способна производить такое давление и, как бы ощупывая предметы, видеть в темноте. На основании своей теории он решает и обычные задачи пре-

¹ Всего строже отнеслись к теориям Декарта астрономы, требовавшие основ для своих вычислений. Деламбр говорит, например: «Декарт «воскресил метод древних греков, которые решали наугад, не давая себе труда наблюдать или вычислять. Но, сопоставляя заблуждение с заблуждением, вымысел с вымыслом, признаюсь, что твердые небесные сферы Аристотеля мне все же более по душе, чем вихри Декарта».



Черт. 7.

ломления и отражения лучей. Предположим, что небесный шарик ударяется наискось о твердую стену; по законам удара легко будет доказать, что он отскочит от стены под тем же углом и что поэтому углы *падения и отражения должны быть равны между собой*. С целью вывести закон преломления лучей представим себе, что шарик ударяется о стену, в которую он способен проникнуть, и предположим, далее, что в более плотном веществе стены он будет продолжать двигаться с большей против прежней, например, с двойной скоростью. При этих условиях мы можем разобраться в данном явлении при помощи следующего построения. Обозначим стену буквами AB , отрезок, пропорциональный скорости света CD , и опишем радиусом CD около точки D круг: в таком случае шарик в стене пробежит радиус круга в половину того времени, которое он употребил на прохождение вне стены по радиусу CD . Разложим движение CD на две взаимно перпендикулярные слагаемые CE и ED ; в нашем случае движение, параллельное стене, не изменится (по предположению Декарта), следовательно, в половину времени шарик пройдет лишь половину CD , равную DF . Изменение вертикальной слагаемой в стене не нуждается в особом определении, так как величина всего движения и величина и направление одной из слагаемых уже вполне определяет путь шарика к стене. Отношение между путями, проходимыми вне и внутри стены, параллельно последней, будет при этом одинаково для всякого угла падения, в нашем случае, например, 2:1; а так как это отношение (как видно из рисунка) равно отношению *синусов угла падения и преломления*, то отсюда прямо следует, что *отношение этих синусов будет всегда одинаково для одних и тех же сред*.

Закон преломления принес Декарту мало славы. Утверждали, что закон этот был найден раньше его Снеллием, хотя и был выражен им в менее удобной форме, и что *Декарт знал об этой работе и воспользовался ею*, т. е. присвоил себе чужое открытие, не упомянув имени Снеллия. Таково было мнение Исаака Фосса в 1662 г.; Гюйгенс же слышал от кого-то, что самая рукопись Снеллия была в руках у Декарта. Историки, математики и физики считают эти обвинения большею частью правильными. Только в недавнее время д-р П. Крамер¹ пытался доказать, что гораздо более вероятным является самостоятельное открытие Декартом закона преломления. Крамер относит открытие к 1627 или 1628 гг. на том основании, что Декарт устроил около этого времени прибор для шлифовки чечевиц, указывающий на знакомство его с законами преломления. Он считает вероятным, что при своем двукратном непродолжительном пребывании в Голландии, в 1619 и 1621—1622 гг., Декарт ничего не слышал о снелли-

¹ «Zeitschr. f. Math. u. Physik», XXVII Jahrg. Hist. lit. Supplem.

132 ДЕКАРТ И СНЕЛЛИЙ

евском открытии (которое вряд ли и было им сделано уже в это время); поселился же он в Голландии только в 1629 г. Все эти обстоятельства, вместе взятые, убеждают Крамера в том, что честь открытия принадлежит французскому философу. Допуская правильность указанных доводов, все же следует думать, что до 1637 г., когда была издана «Диоптрика», Декарт уже должен был слышать о новом открытии, так как, например, профессор Гортензиус начиная с 1634 г. излагал на своих лекциях закон преломления по Снеллию. Если это так, — а этого не отрицает и сам Крамер, — то странно, почему Декарт в своей «Диоптрике» не защищает своих прав против Снеллия. По мнению Крамера он вовсе не был обязан называть своего предшественника; по нашему же мнению он должен был это сделать в собственных интересах. А так как он вообще очень заботился об охране своих прав, то в данном случае небрежность, на наш взгляд, свидетельствует против него. Мы склоняемся поэтому в пользу вероятности молчаливого пользования с его стороны чужим открытием, тем более что он (по собственному признанию и свидетельству Крамера) вообще не считал нужным упоминать в своем трактате, — не представляющем собой истории оптики, — имен своих предшественников ¹. Если Фосс и Гюйгенс выступили со своими обличениями только после смерти Декарта, то это не служит доводом против правильности последних; признание же совершенной невинности Декарта превратилось бы в тяжкое обвинение против таких людей, как Фосс и Гюйгенс.

Выводя свой закон преломления, Декарт вынужден делать различные *предположения*: 1) скорость света в более плотной среде больше, чем в менее плотной; 2) скорости эти в одних и тех же средах имеют при всех углах падения одинаковые отношения, и 3) слагающая, параллельная поверхности раздела сред, при переходе из одной среды в другую не изменяется, откуда также следует, что нормальная слагающая изменяется с изменением угла падения. *Все эти гипотезы сами по себе маловероятны и приобретают правдоподобие лишь в виду согласия с результатами.* Английский философ Гоббс (1588—1679) и знаменитый математик Ферма (1590—1663) восстали против всех пунктов этого доказательства, и Декарт не только не одержал победы, но едва мог добиться перемирия. Когда же по смерти Декарта его ученик Клерселье в 60-х годах издал несколько ненапечатанных рукописей, а также письма ² своего учителя и попытался защищать его способ выведения закона преломления, Ферма возобновил свои возражения и привел свое доказательство, построенное на положении, прямо противоположном одному из положений Декарта. Именно Ферма, *исходя из предположения, что свет пробегает путь от какой-либо точки в одной среде к точке в другой среде в наикратчайшее время, применил свой новый метод наибольших и наименьших величин (maxima et minima) к определению пути света.* Он пришел к результату, соответствующему

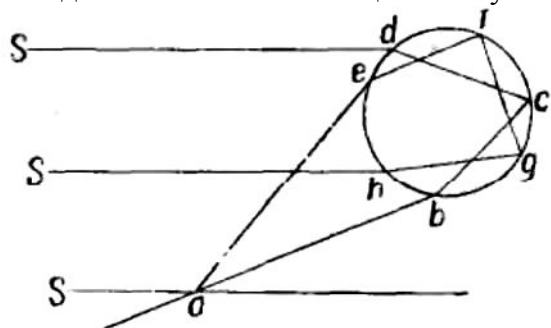
¹ Новейшие исследования (Ch. Adam и др.) подтверждают точку зрения Крамера. (Прим. ред.)

² *Clerselier. Lettres de Descartes sur la morale, la physique, le medicine et es mathematiques*, 3 vol., Париж, 1667.

ОБЪЯСНЕНИЕ РАДУГИ 133

декартовскому закону преломления, но в то же время ему пришлось принять *скорость в более плотной среде меньшей, чем в среде менее плотной*. Так как природа ничего зря вообще не расточает, то он находил принцип наименьшего действия безусловно надежным и считал себя победителем в этом споре. Однако Клерселье не сдался; он возразил, что и принцип Ферма может иметь в физике только значение гипотезы. С тех пор обе точки зрения по вопросу о скорости света в плотных и редких средах так и остались непримиримо враждебными друг другу. Поэтому многие оптики сознательно обходили принципиальную сторону этого вопроса, довольствуясь наглядным доказательством закона преломления, носящим название «солдатского фронта». Именно световые лучи, встречаясь с поверхностью раздела двух сред, ведут себя точь-в-точь, как солдаты, идущие развернутым фронтом, когда гладкая дорога перерезывается наискось пашнею, — они поворачивают фронт и уклоняются от первоначального направления. Такое доказательство приводит Барроу в своих «*Lectioes opticae*» (1669) и Деталь в своем «*Mundus mathematicus*» (1690). Согласно Монтюкла («*Histoire des Mathematiques*») доказательство это придумано патером Меньяном в 1648 г.

Убедительнее, чем вывод закона преломления, вышло у Декарта *объяснение радуги*, помещенное в трактате о метеорах. Он сначала попробовал установить ход световых лучей опытным путем. Взяв стеклянный шар, он подвесил его так, чтобы солнечные лучи падали на его поверхность; затем стал спиной к солнцу и, то поднимая, то опуская шар, наблюдал в нижней части его, в *b*, появление цветов всякий раз, как зрительная линия *ab* в капле образовывала со зрительной линией *Sa*, направленной к солнцу, угол приблизительно в 42° ; красный цвет получался при несколько большем, а желтый и голубой при несколько меньшем угле. Когда угол становился больше 42° , цвета исчезали; они, однако, появлялись вновь, бледнее и в обратном порядке на верхнем краю шара, когда угол достигал приблизительно 52° . Закрывая затем бумагой те места шара, где предположительно проходили лучи, Декарт нашел, что в первом случае луч проходит путь *Sdcba*, а во втором путь *Shgfe*. Он дал, таким образом, наглядное доказательство того, что *главная радуга происходит от двукратного преломления и однократного отражения*, а *побочная радуга — от двукратного преломления и двукратного отражения*. Впрочем, Декарт не удовлетворился этим доказательством, а захотел исследовать, *почему мы получаем свет только от тех капель, из которых лучи выходят под определенными углами со своим первоначальным направлением*. Он рассудил, что солнечные лучи, падающие параллельно на каплю, смотря по месту, на которое упали, должны выходить из капли под весьма различными углами, т. е. должны сильно расходиться. Стало быть, солнечный свет рассеивается каплями дождя, и вследствие этого мы вообще не полу-



Черт. 8.

134 ЖИЗНЬ ГАССЕНДИ

чаем светлых изображений от лучей, попадающих в наш глаз из капли; и только в том случае, когда собирается сравнительно много таких лучей, т. е. *когда лучи выходят из капель почти параллельно, получается светлое изображение*. Декарт вычислил отклонения для 1000 лучей, падающих на каплю в различных точках. Он нашел, что при двукратном преломлении и однократном отражении незначительно расходятся при своем выходе из капли те лучи, которых отклонение равняется приблизительно 42° ; при двукратном же преломлении и двукратном отражении незначительное расхождение наблюдается при отклонении в $51\text{—}52^\circ$. Декарт, таким образом, первый верно определил величину дуг и дал то объяснение радуге, которое и до сих пор считается правильным. Оставалось еще объяснить *происхождение цветов радуги и их последовательность*, но это уже превышало его возможности; он мог только констатировать, что для их образования необходимо неоднократное преломление и что они тождественны с цветами, получаемыми с помощью призмы.

Оптические исследования Декарта замечательны во многих отношениях. *В этой области физики он не только проявляет свой математический гений в лучшем свете, но и пользуется очень искусно опытом как основанием для математических выводов*. Можно, конечно, пожалеть, что он не проявил своих блестящих качеств в «Началах философии», не воспользовавшись здесь ни своим талантом наблюдателя, ни математическим умом; но не следует забывать, что одно дело следить за ходом прямолинейных световых лучей, когда к тому же имеется в виду только их путь, а все скорости и силы оставляются в стороне, и иное дело математически решать сложные проблемы небесной механики. *Только в одном вопросе мы не находим никакого оправдания для Декарта, — мы имеем в виду его отношение к Галилею*. Выводить столь странные ошибочные законы движения, какие даны были Декартом в его «Началах», шесть лет спустя после опубликования «Discorsi», иметь столь ложное понятие о правильности и важности галилеевских работ, какое он проявляет в своих письмах к Мерсенну, — можно только при *недопустимом самообольщении насчет непогрешимости собственного мышления*.

Наиболее значительный противник Декарта *ПЬЕРР ГАССЕНДИ* родился в 1592 г. близ г. Динь в Провансе, от бедных поселян. Один из родственников отправил его в Э учиться философии, и он обнаружил вскоре такие дарования, что 16 лет сделался учителем риторики в Дине, а три года спустя — преемником своего учителя в Э. В это время он уже написал свои «*Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*», напечатанные гораздо позже, после того как он по совету своих доброжелателей уничтожил часть наиболее резких возражений. В числе его доброжелателей был приор Гольтериус и в особенности ученый парламентский советник Пейресциус; по их настоянию молодой Гассенди поступил в духовное звание, а благодаря покровительству Пейресциуса он вскоре сделался каноником и пробстом в Дине. Призванный в Париж в качестве профессора механики в 1646 г., он должен был вскоре вследствие слабого здоровья вернуться в родной город; в 1653 г. он попытался вновь отправиться в Париж; но здесь он снова

ЭПИКУР. НОВАЯ АТОМИСТИКА 135

заболел и умер 24 октября 1655 г., после того как уже изнуренный горячкой, должен был выдержать тринадцать кровопусканий. Его сочинения вышли в 1658 г. в шести объемистых томах.

Гассенди принадлежит к *натурфилософскому направлению физиков*. Его не интересовал опыт сам по себе, не привлекало открытие новых явлений путем наблюдения; но он был далек и от умозрительной односторонности, самостоятельно проверяя то, что казалось ему достойным внимания. Одного только недостает ему местами — *математического интереса или даже, быть может, математических способностей*. Сферой его была по преимуществу критическая проверка научных данных, опровержение старых заблуждений, популяризация новых трудно усваиваемых понятий. Вследствие такого направления Гассенди занимает видное место между основателями нового мировоззрения и стоит в *передовом отряде бойцов против старой физики, опиравшейся на авторитет Аристотеля*. Системе последнего он противопоставил другую философскую систему, обратившись к учению, наиболее враждебному аристотелизму, т. е. к атомистике. Он *превозносил философию Эпикура и положил ее в основу собственных воззрений на природу*¹.

Дробление тела до бесконечности немислимо, полагал Гассенди, иначе тело должно было бы превращаться в ничто. Напротив, *все тела состоят из неделимых частиц или атомов*, между которыми находится абсолютно пустое пространство. *Атомы непроницаемы, неделимы, обладают известной величиной и известной тяжестью, т. е. известным естественным движением, или, по крайней мере, стремлением к движению*. Атомы обладают самой разнообразной формой, бывают шаровидны, овальные, продолговаты, заострены, угловаты и т. д., представляя соответственно этому большую или меньшую инерцию: угловатые инертнее гладких. *Свойства тела определяются различным расположением его атомов*: если последние сцеплены между собой лишь в немногих точках, тело бывает жидким; если они соприкасаются многими точками, тело бывает твердым. Последнее происходит преимущественно при неправильной форме атомов (и у Гассенди первенствующую роль в твердости тел играют крючковатые атомы). Большая и меньшая плотность тел зависит, разумеется, от большего или меньшего расстояния между атомами. *Всякое возникновение и уничтожение есть лишь соединение и распадение атомов; соединение и распадение это совершается силами, присущими самим атомам, а не вследствие вмешательства творца вселенной*. При всем том бог остается первой причиной всех явлений в мире, потому что он создал все атомы со скрытыми в них силами как семенами всего сущего. Земные атомы находятся в состоянии непрерывного движения или падения к центру земли *вследствие взаимного притяжения между атомами*. *Притяжение это не следует, однако, понимать в смысле непосредственного действия на расстоянии (actio in distans)*; оно скорее походит на магнитное притяжение. Притяжение же магнитное, как и электрическое,

¹ De vita, moribus et doctrin. Epicuri (Лейден, 1647); Philosophiae Epicuri syntagma (Гаага, 1655).

Гассенди объясняет, — следуя в этом старым образцам, — *прямым действием истечений, исходящих из тел. Прямым истечением материи из тел* признает он и свет. Он вообще сторонник чистой теории истечений и тем самым становится в прямое противоречие с Декартом, против философской системы которого он выступил в 1643 г.¹, направив свои полемические удары на самый корень ее, на основное положение *cogito, ergo sum*. Гассенди нашел многих приверженцев и в своей теории света, хотя следует заметить, что именно в оптике он сделал больше ошибочных, чем верных выводов.

Скорость звука Гассенди определил по тому же способу, как и Мерсенн; но, употребляя для опытов и пистолеты и пушки, он опроверг одно из заблуждений перипатетиков. Именно, он нашел, вопреки мнению последних, что *звук распространяется в воздухе независимо от своего источника и от высоты тона постоянно с одной и той же скоростью*, именно со скоростью 1473 футов в секунду. Против теории, будто холод есть не что иное, как отрицательная теплота, он решительно восстает, преимущественно на том основании, что вода и селитра при своем смешении порождают холод, а другие тела — тепло. По его мнению, для тепла и холода существуют отдельные материи. *Атомы холода имеют форму тетраэдров; они проникают в жидкие вещества и так соединяют их атомы, что жидкость превращается в твердое тело*. Острые выступы атомов холода производят на нашей коже всем известное колющее ощущение при морозе. Несмотря на коренное несогласие с Декартом, Гассенди, как мы видим, не уступает ему в *смелости определения формы невидимых атомов*. Таково уже свойство натурфилософии. Тем не менее, Гассенди превосходит многих из тогдашних физиков правильностью суждений, притом на почве столь зыбкой, какой была в то время физика земли. Он восстает против теории *центрального огня, постоянно горящего* внутри земли, на том основании, что пламя немислимо без света. Там, где из земли вырывается наружу огонь, последний выходит из пещер и расщелин, в которых накопились сера и смолы. Воспламенение же этих веществ не удивительно, так как известно, что смесь селитры, серы и негашеной извести воспламеняется сама собой. Землетрясения также происходят от таких огней, а вовсе не от сильных ветров, вырывающихся из земных расселин. Морская вода солоная, потому что находится в постоянном соприкосновении с колоссальными соляными залежами и соляными горами на дне морей.

Механические работы Гассенди были результатом его участия в спорах о системах вселенной. В Италии с системой Коперника было надолго покончено после приговора над Галилеем; во Франции же, где в это время собралось много замечательных ученых, борьба продолжалась, поддерживаемая влиятельными покровителями науки, вроде, например, Пейресциуса, и приверженцы Коперника одержали, наконец, решительную победу на всех пунктах. *Птолемея система отжила свой век* — таково было общее убеждение; оставалось *выбирать между Коперником и Тихо*. Много серьезных ученых высказывалось

¹ Disquisitiones Anticartesianae.

СИСТЕМЫ ВСЕЛЕННОЙ. ИЗУЧЕНИЕ ПАДЕНИЯ ТЕЛ 137

в пользу Тихо, например, его ученик *Лонгомонтанус*, капуцинский монах *де-Рейта*, иезуиты *Риччиоли*, *Дешаль* и др. Всего же энергичнее нападал на Коперника *Ж. Б. Морен* (1583—1656) в своем трактате, напечатанном в 1631 г. Морен не привел новых опровержений; но его влияние в Париже было значительно и потому опасно. В 1629 г. он сделался профессором математики в Париже (свою карьеру он начал в качестве врача, попутно занимавшегося астрологией) и сумел приобрести расположение Ришелье и его преемника Мазарини. При таких обстоятельствах Сорбонна легко могла присоединить свой приговор к папскому проклятию и попытаться изгнать Коперника из Франции подобно тому, как он был изгнан из Италии. Вот против этого-то Морена и его доводов в пользу тиховской системы и выступил Гассенди в двух письмах к Петру Патеанусу в 1640 г. Морен ответил в 1643 г. монографией со скромным заглавием: «*Alae telluris tractae*»; Гассенди возразил в третьем письме своему покровителю Гольтериусу, а в 1649 г. вышло в свет собрание его возражений против Морена в сочинении «*De motu impresso a motore translato*». Морен и тут не признал себя побежденным, но Сорбонна уже побоялась уронить свое достоинство, приняв участие в споре. Главный предмет сочинения «*De motu impresso*» составляет рассуждение о *сохранении движения и в том случае, когда движущемуся уже телу сообщено новое движение*. Противники коперниканской системы, наперекор галилеевским исследованиям о сложении движений, не хотели понять, что тело, брошенное от земли кверху, сохраняет, независимо от сообщенного ему движения, и то, которое оно имело первоначально от совместного движения с землей. Морен вновь поднял вопрос о том, что если земля движется, то падающее тело должно отставать от нее. Для окончательного решения этого вопроса Гассенди произвел ряд опытов в марсельской гавани. Именно с верхушки мачты галеры, проходившей в $\frac{1}{4}$ часа четыре миллиария (1 миллиарий=1000 шагам), бросали камни, но они неизменно падали параллельно мачте, т. е. не отставали от судна, несмотря на его поступательное движение. Таким образом был, наконец, уничтожен почти двухтысячелетний аргумент об отставании облаков и других предметов от движущейся земли. Гассенди ратовал также за галилеевский закон падения тел в письмах к ярому противнику этого закона патеру Казреусу¹, доказывая последнему ошибочность его выводов и неточность произведенных им опытов. При всем том Гассенди не объявлял себя прямым приверженцем системы Коперника; он только старался доказать, что все возражения против нее неосновательны. И в своем «*Institutio astronomica*», вышедшем в 1647 г., он еще не решается высказаться открыто. В первой части сочинения помещена сферическая астрономия; во второй — изложена система Птолемея, а в третьей — системы Коперника и Тихо. Птолемея была им совершенно отвергнута, коперникову он признал простейшей и наиболее соответствующей действительности. *Что касается тиховской, то ее следует признавать на том основании, что библия явственно приписывает движение солнцу*. Истинный смысл таких слов был доста-

¹ De proportione qua gravia decidentia accelerantur Epistolae, III, Париж, 1646.

138 ГАССЕНДИ И ЦЕРКОВЬ. ОПТИКА КИРХЕРА

точно прозрачен, доказательством чему служат не прекращавшиеся нападки Морена, но церковь удовлетворялась этой мнимой покорностью. Была ли она во Франции менее уверена в своей власти, чем в Италии; страшилась ли она затеять новый инквизиционный процесс против знаменитого ученого; или же Галилей сам дал главный повод к гонению против него своей смелой полемикой против полуученых монахов? Даже современники дивились, как могло духовенство отнестись так бесстрастно к восстановлению атомистического учения, восхвалению отверженного Эпикура и возобновлению дискуссии о коперниканской системе. Обходительному, кроткому, никого не задевавшему за живое ученому, смиренному служителю церкви, простодушному Гассенди, бессознательно проповедовавшему опаснейшие учения, прощалось столь многое, что сравнительно свободомыслящий теолог, *Лонуа* (Launoy), говоря о Гассенди, не удержался от восклицания: «Если бы то же говорил Рамус, Литаудус, Виллониус и Клавиус, чего бы только не сделали с этими людьми!»

Мы уже имели случай говорить об *АТАНАЗИУСЕ КИРХЕРЕ* по поводу его наблюдений над магнитом. Теперь перейдем к его *оптическим работам* и некоторым сочинениям по другим вопросам. Кирхер, как уже было отмечено, не стоит на очень высокой ступени в нашей науке, и многие физики, вероятно, не согласились бы даже признать его сотоварищем; тем не менее, его работы заслуживают внимания. Они служат *приблизительным мериллом тогдашнего научного уровня и направления*, хотя в оценке их необходима осторожность: следует остерегаться приписывать эпохе в качестве типичных некоторые рискованные теории этого дилетанта-экспериментатора. Сочинение Кирхера, посвященное оптике, вышло в 1646 г. в Риме, и в 1671 г. в Амстердаме в дополненном издании под заглавием «*Ars magna lucis et umbrae*». Хотя опубликование декартовского закона преломления произошло в 1637 г., Кирхер не принимает его в соображение; составляя таблицы преломления из воздуха о воду, вино, масло и стекло, он дополняет таблицы для воды по гипотезе Кеплера. В амстердамском издании подробно описан волшебный фонарь, *laterna magica*, почти совершенно в том виде, как он существует теперь, и для большей наглядности описания приложены два прекрасных рисунка. Это дало повод приписать изобретение волшебного фонаря Кирхеру,— быть может, и неправильно; нас, однако, этот вопрос не интересует, так как в принципе этот прибор был уже дан Портой. Кирхер предпринял в 1636 г. путешествие по Сицилии в свите ландграфа Фридриха Гессенского и, между прочим, посетил Сиракузы. Тщательный осмотр убедил его, что при осаде 212 г. до н. э. римский флот мог приблизиться к стенам города на 30 шагов; а так как Кирхеру удалось сочетанием 5 зеркал зажечь горючие вещества на расстоянии 100 футов, то он вообразил, что нашел веское доказательство сожжения римского флота Архимедом. Наше убеждение в противном было изложено в свое время выше, см. ч. I.

Во время путешествия в Сицилию Кирхер обратил внимание на миражи (*Fata morgana*), довольно частые в Мессинском проливе, и нашел для них удовлетворительное, по его мнению, объяснение. Песок

морского дна на калабрийской стороне содержит много гипсовых, стекловидных и слюдообразных частиц. От чрезвычайного солнечного зноя, свойственного этим местам, частицы эти испаряются или улечучиваются в таком количестве, что образуют в воздухе зеркальную поверхность, и в ней-то отражаются перед удивленными взорами отдаленные, обычно невидимые, чудные ландшафты.

Около того же времени обратило на себя внимание другое не менее удивительное световое явление. По рассказу Пристлея в его «Истории оптики», башмачник В. Каскариоло, производя в 1630 г. алхимические опыты, заметил, что тяжелый шпат, находимый близ Болоньи, будучи оставлен некоторое время на солнце, приобретает свойство издавать слабый свет в темноте. Рассказ этот неверен, по крайней мере в части, касающейся времени; именно уже *Ма-Галла* в своей книге «*De phaenomenis in orbe Lunae*» (1612) сообщает, что Галилей в разговоре с ним упоминал об этом камне и его «необыкновенных свойствах, заключаая из них, что свет не может быть материальным явлением. Кирхер подробно описывает тяжелый шпат, прибавляя, что его можно найти еще и во многих других местах, кроме Болоньи, и что свечение становится еще сильнее, если камень стереть порошок, смешать с водой, яичным белком и льняным маслом и прокалить в печке. Из поглощения света болонским камнем нельзя, однако, по правильному замечанию Кирхера, заключить о существовании особого светового вещества, как нельзя заключить того же из свечения раскаленного железного прута, когда его вынимают из огня. Подобные *светящиеся камни* или *фосфоры* сделались затем предметом внимательного изучения, и их свойствами стали объяснять всевозможные явления. Самая луна была превращена в такой фосфор для того, чтобы объяснить слабое свечение ее поверхности, не освещенной солнцем¹.

Главное достоинство книги «*Ars magna*» заключается в исследовании цветов. Кирхер не имеет достаточной математической подготовки, чтобы заниматься чисто математической теорией света; поэтому он отыскивает такие задачи, где бы недочеты в его образовании выступали менее резко, и находит желаемое в разработке вопроса о цветах. *Правда, и здесь он не прокладывает новых путей; его учение о цветах с теоретической стороны остается целиком на прежних основаниях; но зато у него можно найти целый ряд новых и интересных наблюдений.* Кирхер первый из физиков упоминает о так называемых *физиологических* (или субъективных) *цветах и световых следах*, на которых появляются эти цвета. Некий Иос. Бонакурсиус уверял, будто можно видеть в темноте. Для проверки его слов Кирхер набросал на

¹ Изучение светящихся камней было в большом ходу не только в XVII, но и в XVIII столетии. В 1675 г. Балдуин (саксонский судья) нашел, что остаток, получаемый от перегонки мела в азотной кислоте, тоже впитывает свет (балдуинов фосфор). То же свойство было замечено Гомбергом в 1712 г. на твердом нашатыре и хлористом кальции (гомбергов фосфор). Дю-Фай нашел в 1724 г. то же свойство в аметисте, гиацинте и многих других камнях. Наш современный химический элемент фосфор был открыт в 1669 г. Брандом из Гамбурга. Любопытно замечание Бэкона («*Organon*», 1620): нужно исследовать, может ли свет сохраняться в каком-либо месте; некоторые ученые объясняли сумерки оставшимся солнечным светом.

140 СУБЪЕКТИВНЫЕ ЦВЕТА. ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЯ

бумаге легкий рисунок и поместил его в отверстие ставни в темной комнате. Посмотрев некоторое время на рисунок, он закрыл отверстие ставни и, взглянув на лежащий поблизости кусок белой бумаги, увидел на нем разноцветные круги и изображение своего рисунка. Кирхер обращает внимание всех ученых на это явление; сам же он думает, что глаз в данном случае, подобно болонскому камню, всасывает или поглощает свет, а затем вновь испускает его. Большой интерес возбудил в Кирхере *хамелеон*, привезенный в 1639 г. из Палестины одним францисканским монахом: удивительную игру цветов этого животного он, однако, объясняет простой целесообразностью в природе. Особенно интересно его отношение к другому важному открытию: ему привезли из Мексики в подарок кубок, сделанный из дерева, которое называли *почечным*¹ в связи с его целебным действием при болезнях пузыря и почек. Кирхер заметил, что долго стоявшая в этом кубке вода при рассматривании против света не давала никакого цветного оттенка и была прозрачна; при рассматривании же сверху она казалась окрашенной в различные цвета, но больше всего в яркий голубой цвет. Бойль впоследствии продолжал эти наблюдения и нашел, что настойка почечного дерева в проходящем свете золотисто-желтого цвета, а в отраженном — голубого. Много «думал Кирхер над объяснением этого странного явления и, наконец, после многих опытов он нашел настоящую «причину и обещал изложить ее в другом месте; но, к сожалению, *позабыл о данном обещании*, и потому его отношение к явлению *флюоресценции* так и осталось для нас загадкой.

В двух трактатах об *акустике*² 1650 и 1673 гг., в которых много говорится о замечательных эхо и подземельях, повторяющих человеческие слова, Кирхер первый дает описание двух новых акустических приборов: *эоловой арфы* и *рупора*. Впрочем, его заслуга в этом отношении вызывает некоторые сомнения. Относительно первого прибора было уже давно известно, что ветер вызывает гармоническое звучание струн; что же касается второго, то он мало соответствовал назначению. Рупор в его теперешнем виде был впервые описан в 1671 г. англичанином *С. Морлендом*.

Наиболее легкомысленное из произведений Кирхера «*Mundus subterraneus in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur*» (Амстердам, 1664). Сочинение это, представляя лишь повторение ходячих теорий о внутренности земли, вместе с тем доказывает, что по отношению к темным недрам земли выдумывать басни было еще легче, чем относительно ее освещенной поверхности. «*Mundus subterraneus*» большинство явлений внутри земли объясняет существованием центрального огня и горючих паров, заключенных в ее пещерах. Центральный земной огонь (солнце тоже представляет громадную колеблющуюся огненную массу) воспламеняет накопленные в пещерах селитряные пары, вследствие чего происходят землетрясения; он вы-

¹ Burckhardt («Pogg. Ann.», CXXXIII, стр. 680) сообщает, что уже Монардес знал про эти свойства почечного дерева и описал их на испанском языке. Перевод его книжки появился в Венеции в 1575 г. По мнению Буркхардта Кирхер воспользовался ею.

² Musurgia, s. ars magna consoni et dissoni (Рим, 1650); Phonurgia nova, 1673.

ВОЗДУШНЫЙ НАСОС. ВОДОЛАЗНЫЙ КОЛОКОЛ 141

тесняет из пещер, пронизывающих всю землю наподобие губки, водянистые части в воздух. Пары сгущаются в холодных слоях воздуха и падают в виде дождя, или же, если они встречают на пути селитряные пары,¹ — в виде снега и града. Луна похожа на землю и, подобно ей, состоит из землистых частей, воды и всякого рода солей. Вследствие такого сродства, между землей и луной происходит постоянное взаимодействие; лишь только луна осветит море, селитряные духи, задерживаемые обыкновенно водой, встают из глубины и с силою толкают воду вверх. Содержание соли в морской воде объясняется существованием обширных соляных залежей на дне моря; поэтому количество соли увеличивается с глубиной. Речная вода, впадающая в море, остается на поверхности, вследствие чего пары морской воды совершенно пресны.

Кирхер — физик старой школы, воспринявший от нового времени только некоторое умение наблюдать. Он вполне знаком с древней натурфилософией и охотно идет по ее стопам, по крайней мере, там, где наблюдение не заставляет его от этого воздержаться. Математической жилки в нем, по-видимому, вовсе нет, и это еще более усиливает дилетантский характер его сочинений.

То же следует сказать и о *КАСПАРЕ ШОТТЕ*, друге и ученике Кирхера, и сверх того товарище его по ордену. Он родился в 1608 г. близ Вюрцбурга, был впоследствии профессором богословия и математики в Палермо и умер в 1666 г. профессором математики в Вюрцбурге. Его сочинение «*Magia universalis naturae et artis*» (Вюрцбург, 1657) касается почти тех же предметов, которые Кирхер рассматривает в своей оптике. Некоторый интерес представляет только руководство к изготовлению *катоптрических анаморфоз*, неправильных и уродливых рисунков, которые в конических или цилиндрических зеркалах превращаются в правильные фигуры: впрочем, и у Кирхера и у других имеются уже аналогичные указания. В другом сочинении, «*Mechanica hydraulico — pneumatica*» (1657), Шотт продолжает признавать *horror vacui* и утверждает, что в торичеллиевой пустоте воздух не отсутствует, а только разрежен. В доказательство этого он сообщает, что в пустое пространство над водяным столбом был помещен часовой механизм, и бой его продолжал быть слышимым (Отто Герике, между прочим, обратил внимание на бездоказательность этого опыта). Книга Шотта была полезна лишь в том отношении, что автор (с согласия Герике) включил в нее описание *воздушного насоса*. В позднейшем сочинении «*Technica curiosa*» (1664) описание это было повторено; там же находится первое по времени, но, по-видимому, значительно запоздавшее сообщение о *водолазном колоколе*. В 1538 г. в Толедо, в присутствии Карла V, двое греков спустились в море в перевернутом вверх дном медном котле, и вышли невредимыми. Бэкон в своем «*Organon*» описывает (кн. II, гл. 50) тот же прибор, значительно усовершенствованный, замечая, что им давно уже пользуются для осмотра затонувших судов. Сверх того, он передает в виде слуха о каком-то челноке или кораблике, в котором можно проплывать

¹ Кирхер имеет в виду охлаждающие смеси.

142 ФОКУСНЫЕ РАССТОЯНИЯ ЛИНЗ

значительные расстояния под водой. Согласно письму Бартолинуса младшего, Франц Кеслер из Вецлара изобрел в 1616 г. «водяной панцирь», в котором можно было ходить по морскому дну, читать и писать, есть, пить и петь ¹.

Непосредственно за Кирхером следуют два оптика, весьма отличающихся друг от друга по направлению, но очень значительных.

БОНАБЕНТУРА КАВАЛЬЕРИ ² родился в 1598 г. в Милане и вступил рано в орден иезуитов, или иеронимитов. Духовное начальство в уважение к его талантам отправило его учиться в Пизанский университет; в 1629 г. он стал профессором в Болонье и там же умер в 1647 г. Он был учеником Галилея и другом Кастелли. Своей известностью он обязан, главным образом, выработанному им *новому методу исчисления поверхностей и объемов тел*. Физике он оказал серьезные услуги трактатом «*Specchio istorio*» (Болонья, 1632) и в особенности своими *Exercitationes geometricae sex* (Болонья, 1647). В последней книге он первый указал *фокусное расстояние или расстояние точек пересечения параллельных лучей для чечевиц с различными кривизнами на обеих сторонах*. Приняв показатель преломления воздуха по отношению к стеклу (равным ³/₂), Кавальери совершенно правильно выводит следующие законы: *во всех выпуклых или вогнутых чечевицах с кривизнами, обращенными в противоположные стороны, сумма радиусов обеих поверхностей чечевицы относится к радиусу той, которая обращена к параллельно падающим лучам, как удвоенный радиус другой поверхности чечевицы к фокусному расстоянию*. Если же кривизны обеих сторон чечевицы обращены в одну сторону, т. е. если чечевицы не двояковыпуклы или двояковогнуты, а одна поверхность их выпукла, другая же вогнута, то закон остается в силе, только вместо суммы следует брать разность. Так как математики того времени не имели еще обыкновения выражать противоположные направления знаками, то Кавальери должен был выводить свой закон для каждого из разнообразнейших сочетаний выпуклых и вогнутых поверхностей в отдельности. По этой же причине закон его не указывает противоположного положения фокуса для разных чечевиц, но требует всякий раз дополнительного указания, на какой именно стороне в каждом данном случае находится фокус.

Фокусные расстояния для лучей непараллельных, т. е. расстояния изображений светящихся точек, были впервые определены *Исааком Барроу* в «*Lectiones opticae*», изданных Ньютоном по поручению Барроу. Он также, следуя чисто геометрическому методу, вынужден был рассматривать каждый случай в отдельности. Общую формулу, годную для всех стекол и зеркал, удалось получить только *Галлею* в 1693 г.

ИОГАНН МАРКУС МАРЦИ родился в 1595 г. в Ландскроне в Богемии; был профессором медицины в Праге, где и умер в 1667 г. Одновременно с медициной он с увлечением занимался естественными наука-

¹ *E. Budde, Widemann's Ann.*, XIII, стр. 208.

² Поггендорф пишет его имя так: Bonaventura Cavallieri, предостерегая против смешения с Cavalleri (кагорским профессором математики 1698—1763). Монтюкла и Уэвель пишут: Cavalleri; Вильде — Cavaleri; Фишер — Cavallerie.

УДАР ТЕЛ. СГУЩЕНИЕ СВЕТА 143

ми и — нужно признать — не только удержался на уровне быстро подвигавшейся вперед науки, но и сумел внести в нее и свой вклад. К сожалению, его изложение страдает неясностью и неопределенностью, что и было, вероятно, одной из причин незначительного влияния сочинений Марци на современников и скорого их забвения.

В книге «*De proportione motus seu regula sphy mica*», напечатанной в Праге в 1639 г., Марци с поразительным успехом разработал трудную задачу удара тел, едва затронутую Галилеем и Торичелли и столь неудачно решенную Декартом. Он начинает с разделения тел на мягкие, хрупкие и твердые. Последними (под твердыми он понимает упругие тела) он преимущественно и занимается и приходит к следующим, замечательно верным выводам: *если движущееся тело сталкивается с равным ему покоящимся телом, то само оно остается в покое, другое же тело воспринимает его движение; если два равных тела с равными, но противоположными скоростями сталкиваются, то оба отскакивают друг от друга после удара с равными, но противоположными скоростями*¹.

Второе сочинение Марци «*Thaumantias. Liber de arcu coelesti deque colorum apparentium natura*» (Прага, 1648) посвящено вопросу о *призматических* (т. е. получающихся при разложении света призмой) или, как их тогда называли, *кажущихся цветах*. Автор решительно восстает против старого воззрения, будто эти цвета образуются только на границе между светом и тенью, и вносит интересное предложение — *перехватить призматические цвета экраном в темной комнате для более точного их изучения*. Он утверждает, далее, что *световые лучи, падающие на призму параллельно, выходят из нее расходящимися и что преломленный однажды свет при всех последующих преломлениях сохраняет один и тот же цвет*. Мало того, он приходит к заключению, что *различно преломленные лучи должны быть различно окрашены*. Эти слова можно было бы принять за предвещение ньютоновских открытий; во всяком случае, они показывают, что в это время уже рассуждали о зависимости цветов от коэффициента преломления. К сожалению, пояснительное замечание Марци именно по данному вопросу страдает неясностью. По его мнению, *исследование различных пигментов показало ему, что посредством сгущения можно всякий цвет превратить в другой*; а, так как он вместе с тем заметил, что при переходе из среды менее плотной в более плотную угол отклонения уменьшается, то он полагал, что этим он объяснил, каким образом вообще возникают цвета при преломлении света. А так как при различной степени преломления свет соответственно сгущается больше или меньше, то Марци заключил, что каждой величине преломления соответствует и особый цвет

Сгущение света как причина цветов — представление, которым можно объяснить весьма многое. Оно, однако, не поддается математическому анализу и потому не дает оснований для дальнейшего развития.

Продолжателем физических исследований Торичелли был БЛЕЗ

¹ Montucla, II, стр. 406.

144 ЖИЗНЬ ПАСКАЛЯ

ПАСКАЛЬ. Он родился 19 июня 1623 г. в Клермон-Ферране в Оверни, где его отец был президентом податной палаты. О его феноменально раннем развитии существует столько рассказов, что их можно было бы принять за басни, если бы кратковременная жизнь этого ученого не оказалась до такой степени плодотворной в разных областях науки. В 1631 г. Паскаль поселился с отцом в Париже, где дом их посещали замечательнейшие математики и физики — Роберваль, Каркави, Мерсенн и др., под «влиянием которых мальчик очень заинтересовался вопросами геометрии. Отец, боявшийся, что вследствие такого пристрастия сын его станет пренебрегать изучением языков, прекратил уроки математики, отнял у него все книги, относившиеся к этому предмету, и упросил своих друзей не поддерживать ничем его склонности. По счастью, эти запретительные меры продолжались только до тех пор, пока отец не заметил, что мальчик изобретает собственную геометрию, проявляя при этом большой талант. 16 лет Блез Паскаль зашел уже так далеко в математике, что мог написать книгу о конических сечениях, имеющую и до сих пор научное значение. С 1647 г. начались его физические работы; к сожалению, однако, с 1650 г. его деятельность в этой области стала ослабевать и в 1653 г. окончательно прекратилась. Напряженная умственная работа рано истощила его силы; в нем проявилась склонность к ипохондрии, а с 1653 г., когда ему во время путешествия едва удалось избежать смерти, он погрузился в религиозные вопросы. Паскаль был другом яansenистов — Арно, Николя и др. В защиту первого против Сорбонны он написал в 1656 г. свои знаменитые письма: «*Lettres écrites par Louis de Montalte a un provincial de ses amis*», выдержавшее более 60 изданий. Он умер в 1662 г., 39 лет от роду. Собрание его сочинений было напечатано *Боссю* в Париже в 1779 г.

Мы уже знаем, что Торичелли в 1644 г. сообщил своему приятелю Риччи об открытии барометра. Через него эта весть дошла до фактотума всех тогдашних физиков Мерсенна, а от последнего до Паскаля. Однако на этом длинном пути описание прибора затерялось, вследствие чего *Паскаль, повторивший опыты Торичелли с ртутью, водой, красным вином* и т. д., при изложении их в небольшой работе «*Experiences nouvelles touchant le wide*» (Париж, 1647) исходил еще из старой точки зрения *боязни пустоты*. Но зато, когда вслед за первым известием появилась книга Торичелли о давлении воздуха, Паскаль с усиленным рвением принялся отыскивать надежные доказательства торичеллиевского объяснения, которое он тотчас же признал вполне правильным.

Колебание ртутного столба в барометре не казалось Паскалю достаточным доказательством существования воздушного давления. Поэтому он постарался *удалить совершенно или насколько можно воздух над ртутным резервуаром барометра* и, добившись своей цели, увидел, что ртуть в трубке действительно упала. Не удовлетворяясь и этим, он пожелал доказать еще нагляднее *зависимость высоты ртутного столба от давления воздуха*. 15 ноября 1647 г. Паскаль писал своему зятю *Перье* (советнику податной палаты в Клермоне): «Ты понимаешь, что если бы высота ртути на вершине горы оказалась

БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ НА PUY DE DOME 145

меньшей, чем у подошвы (я так думаю по многим основаниям, хотя все, писавшие об этом предмете, придерживаются другого мнения), то из этого можно было бы заключить, что единственная причина явления — тяжесть воздуха, а не пресловутый *horror vacui*. Ясно, в самом деле, что внизу горы воздух должен быть сгущеннее, чем наверху, между тем как нелепо предполагать в нем больший страх пустоты у подножия, нежели на вершине». По просьбе Паскаля Перье устроил, согласно описанию Торичелли, два барометра и с одним из них отправился *19 сентября 1648 г. на соседнюю гору Puy de Dome, вышиной в 4300 футов*, другой же барометр оставил на попечение патера Шастена. *Поднимаясь на гору, он наблюдал непрерывное понижение барометра*; когда же по окончании экспедиции наблюдатели сравнили барометрические высоты у подошвы горы и на ее вершине, то нашли разницу ртутных столбов в 3 дюйма и 15 линий. Перье тотчас же сообщил Паскалю об успешности опыта, и последний, пораженный большим размером этой разницы, попробовал повторить опыт на меньших высотах. Он взобрался на башню парижской церкви St Jacques de la Boucherie и для ее высоты (около 150 парижских футов) нашел барометрическую разницу в две парижских линии. В том же 1648 г. Паскаль опубликовал новое открытие в брошюре *«Recit de la grande experience de l'equilibre des liqueurs»*. Таким образом *окончил свое земное поприще престарелый horror vacui*. Уцелевшие от крушения перипатетики, хватаясь за обломки его, утешали себя мыслью, что торичеллиева пустота все же не пустота, а только пространство с разреженным воздухом; но, тем не менее, теория, что воздух не может давить на более тяжелые тела, сделалась с этих пор немислимой в науке ¹.

Однако Паскаль не удовольствовался полученными им результатами. *В течение 1649—1651 гг. он был занят дальнейшими барометрическими наблюдениями*, которые он изложил в своем сочинении: *«Traite de l'equilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air»*, оконченном в 1653 г., но появившемся в печати только в 1663 г., т. е. через год после смерти автора. В этой работе Паскаль *объясняет воздушным давлением все явления присасывания*, в том числе, разумеется, и многие явления *прилипания* (как то уже делал Галилей с *horror vacui*). Он отметил, что барометр может служить для определения разности высот местности, но понимал также, что вопрос требует дальнейшего и весьма сложного исследования. Большинство ученых того времени, принимая воздух одинаково плотным повсюду, делало отсюда тот вывод, что высоты мест наблюдения обратно пропорциональны барометрическим высотам. Паскаль же заметил, что *плотность воздуха*

¹ Декарт приписывает себе часть славы, выпавшей на долю Паскаля. В письмах от июня и августа 1649 г. он жалуется Каркави на то, что Паскаль, получив от него идею этих опытов, не сообщил ему первому об их результатах. Причину предосудительного умалчивания он ищет в дружбе Паскаля с его противником Робервалем. Признавая вполне, что система Декарта несовместима с *horror vacui*, и допуская, что она первая поколебала веру Паскаля в это таинственное свойство природы, мы, как и большинство других, не склонны придавать значение притязаниям Декарта, тем более, что его письма написаны на целый год позже работ Паскаля.

146 ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА. КОЛЕБАНИЯ БАРОМЕТРА

уменьшается постепенно от нижних слоев к высшим и что, следовательно, указанной пропорциональности существовать не может. Однако закон, по которому происходит уменьшение плотности соответственно высоте, был открыт гораздо позже. Подобно Торичелли, и Паскаль обратил внимание на колебания барометрического уровня в одном и том же месте; способ ведения наблюдений на *Puy de Dome* служит тому ясным доказательством. Но Паскаль пошел дальше и убедился путем наблюдений, что колебания барометра или воздушного давления находятся в прямой связи с переменами погоды. Он отнес эти колебания на счет перемены ветров и изменения температуры, рассуждая в этом случае правильнее многих других позднейших наблюдателей. Впрочем, его наблюдения были все-таки недостаточны и привели его к неверному выводу, будто барометр падает в ясную погоду и поднимается в пасмурную.

Как видно из заглавия книги, сверх явлений, зависящих от воздушного давления, в ней рассматриваются и условия равновесия жидкостей вообще. Паскаль, подобно Галилею, работы которого не остались, по-видимому, без влияния на него, кладет в основу своих рассуждений закон виртуальных скоростей и при помощи этого закона, сам того не подозревая, выводит те же правила, какие Стевин вывел уже раньше статическим путем в своих «*Beghinselen der Weegkonst*». Паскаль берет для примера цилиндр, наполненный водой и замкнутый с обеих сторон поршнями неодинаковой поверхности. При таких условиях давление, произведенное на один из поршней, будет, правда, передаваться другому соответственно отношению их поверхностей; но зато при движении пути, пройденные обоими поршнями, будут обратно пропорциональны этим же поверхностям; отсюда-то и вытекает указанное выше отношение сил давления. Паскаль обращает особое внимание на отношение виртуальных скоростей как на общий принцип равновесия машин, замечая: «Удивляешься, встречая в какой-нибудь новой машине тот же неизменный порядок, как и в основных, т. е. рычаге, бесконечном винте и т. д., именно, что путь увеличивается в одинаковой пропорции с силой... Это может быть даже принято за истинную причину рассматриваемого действия, так как, очевидно, все равно, заставить ли 100 фунтов воды пройти один дюйм или 1 фунт воды — сто дюймов пути».

Один из последних противников Коперника, *ДЖОВАННИ БАТТИСТА РИЧЧИОЛИ*, родился в 1598 г. в Ферраре, вступил на 16-м году в орден иезуитов, читал теологию и философию в Парме, затем посвятил себя исключительно астрономии и жил в Болонье в доме своего ордена до самой смерти в 1671 г. Его главное сочинение «*Almagestum novum*», напечатанное в Ферраре в 1651 г. в двух томах *in folio* и продолженное в «*Astronomia reformata*» 1665 г., представляет обширный компилятивный труд, в котором с похвальной точностью изложено развитие астрономии до его времени. Для нас эта книга особенно интересна по описанию опытов с падением тел, предпринятых Риччиоли вместе со своим учеником и другом Гримальди в 1640—1650 гг. в Болонье. Риччиоли бросал меловые шары с вершины башен преимущественно с башни *Degli Asinelli* в Болонье, имеющей до 200 футов вышины, и измерял время падения качаниями маятника, отмечавшего

ВОЗРАЖЕНИЯ РИЧЧИОЛИ ПРОТИВ КОПЕРНИКА. ИЗМЕРЕНИЕ ГРАДУСА 147

$\frac{1}{6}$ секунды. При этих опытах измерялись то пространства, пройденные за известные промежутки времени, то промежутки времени, за которые были пройдены известные расстояния. Как в том, так и в другом случае оказалось, что пространства, пройденные в последовательные равные времена, относятся между собой, как ряд нечетных чисел. Собственно говоря, *точность здесь перешла меру*; сопротивление воздуха и ошибки наблюдения должны были бы сказаться на получаемых результатах, и едва ли можно предполагать, чтобы эти влияния взаимно уничтожались до нуля. Риччиоли сверх своих опытов с падением тел занимался также определением *влияния воздушного сопротивления* и нашел, что шары более тяжелые достигают земли несколько ранее легких. Подтвердив таким образом, с одной стороны, выводы Галилея, Риччиоли воспользовался последним обстоятельством, чтобы их, с другой стороны, опровергнуть.

По убеждению или же в качестве послушного сына церкви Риччиоли был противником системы Коперника, и в своем «Альмагесте» привел против нее не менее 77 возражений. Между ними находился и знаменитый *старый довод* об отставании падающих тел от движущейся земли, но в *новой, более заостренной форме*. Если земля находится в движении и вместе с ней движутся все принадлежащие к ней тела, то действительное движение падающего тела должно слагаться из его собственного движения книзу и вращательного движения, общего с землей. Истинное движение тела должно было бы, следовательно, привести к совершенно другому закону, нежели простое падение: а так как скорость движения земли огромна, сравнительно с движением падения, то действительное движение (подобно вращению) должно было бы совершаться почти равномерно. Между тем уже Галилей заметил, что на движущейся земле мы имеем возможность наблюдать только относительное движение тела. Современники вскоре опровергли Риччиоли, указав, что он при своих выводах фактически определял *абсолютное движение* падающих тел.

Риччиоли в отношении изучения земных явлений в качестве физика имел вообще меньше достижений, чем в области изучения небесных явлений в качестве астронома. *Морские приливы* он, например, объясняет притяжением морских паров и самого моря солнцем и сверх того привлекает на помощь ветер, дующий постоянно с востока на запад и гонящий перед собой морскую воду. *Градусное измерение*, предпринятое им в 1645 г. совместно с Гримальди, причем горизонтальное расстояние мест определялось триангуляцией, дало для градуса 62650 туазов; между тем, *Р. Норвуд* простым измерением цепью в 1636 г. определил эту величину гораздо точнее, в 57 300 туазов.

Помощник Риччиоли *ГРИМАЛЬДИ* оставил после себя сочинение по оптике, которое для физики важнее всех работ его учителя. *Франческо Мария Гримальди* родился в 1618 г. в Болонье, был тоже иезуитом и профессором математики в иезуитской коллегии в родном городе, где и умер в 1663 г. Упомянутое сочинение вышло в свет спустя два года после *его смерти под заглавием: «Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride aliisque annexis libri duo»*. Оно, прежде всего, известно благодаря *открытию дифракции света*. Гримальди пропустил в темную комнату

148 ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

сквозь маленькие отверстия солнечный свет, причем позади отверстия, конечно, получился конус света. В этот конус он на довольно большом расстоянии от отверстия ввел палку, (направляя тень на белую поверхность экрана. В результате получился ряд неожиданных явлений. Во-первых, *центральная тень от палки оказалась шире*, чем она должна была быть при совершенно прямолинейном распространении света; во-вторых, *по обе стороны средней тени* (в зависимости от силы света) *были видны одна, две или три полосы*, которые с края, обращенного к тени, были голубыми, а с противоположного — красными, причем яркость света и цветов уменьшалась по мере перехода от середины к краям. Но и в самой тени замечались при ярком солнечном свете *цветные полосы*. Отсюда стало ясно, что свет не только распространяется прямолинейно, но при прохождении мимо тела отклоняется в сторону от тела, а также огибает последнее.

Такое свойство света Гримальди назвал *дифракцией*, и чтобы показать отличие последней от *отражения и преломления*, он изменил постановку своих опытов. Желая устранить из опыта промежуточные тела, он ввел в световой конус металлическую пластинку с маленьким отверстием, собирая проходивший сквозь него свет по-прежнему на белый экран. Освещенный круг и в этом случае оказался больше, чем следовало ожидать по величине отверстия. Затем Гримальди проделал в ставне комнаты два отверстия и получил на экране изображения на таком расстоянии, чтобы они отчасти покрывали друг друга: получилось два темных пересекающихся кольца вокруг каждого из светлых кругов; поле же, общее обоим кольцам, оказалось гораздо светлее полей, соответствующих каждому кольцу в отдельности; кроме того, край каждого круга казался темным на освещенном поле другого. Из всех этих явлений, вместе взятых, Гримальди вывел следующее заключение: *освещенное тело может сделаться темнее, если к получаемому им свету прибавится новое количество света*. Таким образом, он точно излагает *интерференцию света*, хотя и не объясняет ее ¹. По части *объяснений* Гримальди *вообще своеобразен*: он не любит самостоятельно приходить к новому мнению или, по крайней мере, высказывать его вполне определенно, а предпочитает приводить различные чужие мнения, освещая их критически и не высказываясь определенно и ясно в пользу того или другого. Гримальди, без сомнения, думал о *волнообразном движении света*: зачатки волновой теории света ясно выражены в его работе, когда он, например, говорит: «Подобно тому, как вокруг камня, брошенного в воду (как вокруг центра), образуются круговые возвышения воды, точно так же вокруг тени непрозрачного предмета возникают блестящие полосы, которые соответственно форме последнего либо распространяются в длину или же изгибаются дугообразно. Далее, подобно тому, как те круговые волны представляют простое скопление воды, вокруг которого с обеих сторон тянется углубление, так и блестящие полосы суть не что иное, как свет, рас-

¹ В числе вопросов о природе света у Бэкона встречается и следующий: нужно исследовать, каким образом свет затемняется, например, более сильным светом. Ясно, впрочем, что он здесь имеет в виду не интерференцию, а преобладание сильного света над слабым.

ЦВЕТА. ОЦЕНКА РАБОТ ГРИМАЛЬДИ 149

пределенный неравномерно вследствие сильного рассеяния и прорезанный теньвыми промежутками». Однако большая разница существует между предчувствием причины какого-либо явления и действительным объяснением всех особенностей явлений на основе этой причины. От объяснения всех наблюдаемых явлений, исходя из гипотетического волнообразного движения, Гримальди был так далек, что в своих теориях должен был часто прибегать к сравнениям и аналогиям. Рассуждая о *цветах*, он, например, высказывает мнение, что *цвета должны, по всей вероятности, обуславливаться различной скоростью колебаний светового вещества*, подобно тому, как различные тоны зависят от неодинаковой скорости колебаний воздуха. Но тут же он допускает предположение (которое приходило в голову и Маркусу Марци), что *в тех местах, где световые лучи падают гуще, цвета должны быть ярче* — предположение, представляющее *отголосок старого взгляда на образование цветов из света и темноты*. Впрочем, Гримальди окончательно разрывает с теорией постоянных и кажущихся цветов; *он считает цвета составными частями света*, поясняя, что цвета могут существовать только в самом свете и что так называемые *истинные, или постоянные, цвета тел зависят от способности последних отражать падающий на них свет с особыми видоизменениями*. Объяснение различной густоты одного и того же цвета Гримальди находит в наблюдении, обратившем уже на себя внимание Марци. Подобно последнему, он заметил, что свет, пройдя через призму, рассеивается, и, следовательно, одна часть светового луча преломляется сильнее другой. Отсюда — вывод: там, где свет наименее преломлен, он всего гуще и ярче, т. е. окрашен в красный цвет; в месте же наибольшего преломления он более разряжен и получает голубую и фиолетовую окраску.

В лице Гримальди мы познакомились с известнейшим из иезуитов-физиков. Их было много в то время, и во всех них легко заметить некоторое *фамильное сходство*. Почти все они — недурные наблюдатели, перенимают умело и успешно чужие открытия, и нередко развивают их дальше. Но *пробивать новые пути вообще не их дело*. Исключение из этого правила составляет Гримальди. Он, по крайней мере, *бесспорно, первый заметил и понял явление дифракции и, изучая его опытным путем, не дал себя сбить схоластически-философскими уклонами*.

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

II. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ.

(Приблизительно с 1650 до 1690 г.)

В течение предшествующего периода физике удалось поставить опыт на степень научного метода и возвысить его в общем мнении; в настоящем же периоде *увлечение опытом достигает уже односторонности, приводящей зачастую к пренебрежению прочими факторами науки. Флорентийские академики ставят себе программой исследовать, а не рассуждать;* великий экспериментатор Бойль так мало заботится о выводах из своих наблюдений, что один из учеников опережает его в открытии так называемого закона Бойля-Мариотта; повсюду научные силы устремляются на темы, где *опыту должен принадлежать решающий голос.* Вновь открытый воздушный насос привлекает общий интерес, и все наблюдения, которые производились раньше на открытом воздухе, проверяются теперь в безвоздушном пространстве. Большим вниманием пользуются явления *волосности, стеклянные слезы* и т. д. Приборы, служащие для *метеорологических наблюдений,* постепенно совершенствуются; барометры, термометры, гигрометры, анемометры, измерители дождя изобретаются во множестве, приспособляясь к самым разнообразным целям. К сожалению, всем этим приборам недостает необходимейшего качества — согласованности и сравнимости их показаний. Невзирая на все усилия, ученым не удалось получить постоянной шкалы для термометров, и даже барометры вследствие разноречивости их показаний оказываются непригодными для точных измерений. Тем не менее, термометры были, в конце концов, усовершенствованы настолько, что они исключили возможность всяких фантазий, подобных бэконовским представлениям о теплоте, и дали возможность установить существование некоторых постоянных температур, например точек кипения и др. Отдельные метеорологические вопросы возбуждали продолжительные прения, следствием которых были длинные ряды разнообразных наблюдений, в большинстве случаев, впрочем, не доведенных до конца. *Расширение тел от действия теплоты, кипение жидкостей, замерзание воды, естественное и искусственное охлаждение* были предметами, занимавшими почти каждого из естествоиспытателей. *Акустика* давала еще слишком мало пищи экспериментальной физике, и только измерения скоро-

ПРЕОБЛАДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ 151

сти звука производились с большим усердием. *В оптике особенно подвинулась вперед теория цветов. Спектральные явления, цвета тонких пластинок, естественные цвета тел, цвета, образующиеся при дифракции, были изучены почти исчерпывающим образом; фосфорические явления* тоже внимательно изучались. Только электричество и магнетизм странным образом остались вне общего потока. Магнетизм, правда, разрабатывался, но исключительно для практических целей мореплавания, а электричество, невзирая на открытия Герики, — только со стороны его свойства в безвоздушном пространстве.

Экспериментальное направление резко сказалось и в учреждении больших естественнонаучных академий, открытие которых приходится именно на этот период. Философ и математик требуют уединения для решения своих задач; постороннее содействие нужно им разве для постановки задач и для критики их решений. Экспериментальный же физик, напротив, во многих случаях нуждается в сотrudниках и помощниках при своих работах, а ввиду связанных с опытами денежных затрат нуждается, сверх того, в поддержке государства или друзей науки, располагающих материальными средствами. В прежнее время ученые прибегали обыкновенно к пространной корреспонденции с целью узнать о работах других и опубликовать поскорее собственные открытия. Мерсенн долго играл роль центрального бюро для сношения философов и физиков, и кроме него существовало много любителей, служивших честными маклерами в научных делах. *Теперь же, по почину учеников Галилея, итальянские физики решили соединиться, чтобы при материальной поддержке великого герцога Тосканского производить совместно опыты*, для которых каждому в отдельности не хватило бы рабочих сил и денежных средств. Прекрасный успех этого начинания повлек за собой образование подобных же ученых обществ и в других странах.

С 1645 г. в доме д-ра *Годдарта* в Лондоне стали собираться ученые для обсуждения естественнонаучных вопросов; но под влиянием политической борьбы, возникшей в Англии, это общество долго не получало дальнейшего развития. Только в 1659 г., т. е. через год после смерти Кромвеля, товарищи по науке сошлись официально в *Грешамской коллегии* в Лондоне, а в 1660 г. по вступлении на престол Карла II, это собрание получило правильную организацию ученого общества. Членами его были *Гук, Бойль, Валлис, Врен, Броункер* и др. Президентом был *Вилькинс*, казначеем — *Бэлл*, а секретарем — *Ольденбург*. Общество приобрело коллекцию научных приборов и библиотеку и назначило отдельного куратора (Curator of experiments) для научных работ. Король оказывал большое расположение новому учреждению, принял его 5 декабря 1660 г. под свое личное покровительство, а 15 июля 1662 г. утвердил за ним наименование *Королевского общества (Royal Society)* вместе с юридическими правами и патентом на владение недвижимым имуществом. В силу декрета от 18 октября 1662 г. всякое новое изобретение по физике и ме-

152 ПРЕОБЛАДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ханике должно было подвергнуться испытанию общества. С 1664 г. Королевское общество начало принимать в число своих членов и иностранных ученых; первыми из них были Гюйгенс и данцигский астроном Ревель. В 1665 г. оно поручило своему секретарю Ольденбургу издание научного журнала «*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*», продолжающего регулярно выходить и поныне.

И в Париже образовалась вскоре, по примеру лондонского Королевского общества, ученая академия. Правда, Мерсенну уже раньше удалось организовать собрание представителей науки, но только в 1666 г. получило свое начало общество, которое располагало большими средствами для научных работ. По настоянию Кольбера, оно было утверждено Людовиком XIV, получило наименование *Академии наук* и право заседания в одной из зал Королевской библиотеки, во всех же прочих отношениях оно оставалось частным обществом. Французская Академия наук пригласила в Париж Гюйгенса из Голландии, Доминика Кассини из Рима, Ремера из Дании; первыми ее членами были Роберваль, Озу (Auzout), Пикар, Каркави и др. Этой академии, начиная с 1669 г., наука обязана знаменитыми градусными измерениями, астрономическими и физическими наблюдениями в экваториальных странах и т. д. Вскоре она сделалась первым научным обществом в Европе, с которым соперничать могло только Королевское общество. Свои работы академия публиковала сначала в «*Journal des Savants*» (основанном в 1665 г.); но в 1669 г., когда она была переименована в Королевскую, начал ежегодно выходить один том ее трудов под заглавием: «*Histoire et memoires de l'academie Royale des Sciences*». Издание продолжалось до 1798 г., когда академия подверглась новым преобразованиям при республике.

В Германии после тридцатилетней войны тоже возникло ученое общество. Еще осенью 1651 г. *И. Л. Бауш*, городской врач вольного имперского города Швейнфурта, начал хлопотать об основании Академии естествоиспытателей, *Academia Naturae Curiosorum* (ad excolendas res naturales). В 1652 г. 1 января состоялось первое собрание, утвердившее устав общества. В 1672 г. оно получило санкцию императора Леопольда I, сначала только в качестве частного общества, а с 3 августа 1677 г. в качестве Имперской академии под названием *Sacri Romani Imperii Academia Naturae Curiosorum*. Император, утвердив устав и внешний распорядок новой академии, пытался направить деятельность его на разработку естественной истории и медицины. 7 августа 1687 г. последовало новое расширение прав академии; последняя получила наименование *Caesareo-Leopoldina Naturae Curiosorum Academia* — герб, сохранившийся до сих пор, — полную свободу от цензуры, привилегии против перепечатывания ее трудов, право назначать ученые степени докторов и т. д. Карл VII в 1742 г. вновь расширил привилегии академии, которая в знак признательности включила в название слово *Carolina*. Печатание ее трудов началось в 1670 г. и за исключением периода с 1792 до 1817 г. продолжа-

лось непрерывно до наших дней, изменяясь только по заглавию и по времени выхода книги¹.

Журнал этой академии имел, впрочем, больше значения для описательных наук, чем для физики и химии. Немецкие физики публиковали свои работы преимущественно в «*Acta eruditorum*», основанных в 1682 г. профессором *О. Менке* в Лейпциге и затем издаваемых преимущественно его сыном, внуком и т. д. Журнал прекратил свое существование в 1776 г. на 117 томе in quarto. Другие немецкие академии были либо основаны позже, либо имели мало значения для физики.

Парижская и лондонская академии даже в этом периоде не сосредоточивались односторонне на экспериментальной физике. Они двигали вперед, хотя не столь быстрыми шагами, как в следующем периоде, и *математическую физику*, которая насчитывает несколько блестящих представителей. Если число математических работ было и незначительно, зато они носят печать гениальности и качеством восполняют количество. *Борелли*, а за ним *Гук* много сделали для *теории планетных движений*; было разработано математически учение об ударе тел; в *механических работах Гюйгенса* математическая физика получила могучий толчок вперед; наконец, *Ньютон* завоевал для нее целую новую область в учении о цветах. Однако и в этих великих математиках сказывается преобладающее направление разбираемого периода: все они — *Гюйгенс, Ньютон, Бернулли* и др. — по крайней мере, в молодости увлекались опытным исследованием. Лишь мало-помалу, когда математика начала сильнее развиваться, а они стали сознавать свое истинное призвание, эти гениальные люди покинули экспериментальный путь, чтобы следовать за могучим математическим движением ближайшего периода, или, лучше сказать, чтобы положить для него основание.

Натурфилософия, напротив, не сделала ни шага вперед в этом периоде. Все как будто постепенно пришли к убеждению, что еще не время думать об основании особой самостоятельной натурфилософии, если вообще верили в возможность такой науки. Философия, со своей стороны, мало-помалу распалась на две школы: *индуктивную*, родоначальником которой был *Бэкон*, и *дедуктивную*, основанную *Декартом*.

Индуктивная школа господствовала преимущественно в Англии. По основным свойствам своим она не могла помышлять о натурфилософии, отделенной от экспериментальной физики. В силу этого индуктивная школа, насколько она оставалась чисто философской, все более и более отходила от вопросов внешней природы, и приближалась к *антропологическим вопросам*. Ближайший последователь *Бэкона Гоббс* (1588—1679) стоит еще ближе других к естественным наукам, но и его философия уже неизбежно приводит к теории познания как основной задаче философии. *Гоббс* совершенно отрицает материю как отдельную

¹ *Leopoldina*, Heft XVIII, № 13 и 14.

сущность; особой *неопределенной материи не существует; существуют только тела, от которых мы абстрагируем понятие о материи*. Единственный способ действия тел есть движение; то, что приводит других в движение, должно двигать и самого себя, по крайней мере, в своих мельчайших частях. Следовательно, Гоббс, подобно Декарту, не допускает никакой иной силы, кроме силы инерции, а действие на расстоянии, по его мнению, тоже невозможно. *С другой стороны, Гоббс примыкает к атомистам, признавая, что тела состоят из мельчайших частиц, которые, однако, нет основания считать неделимыми*. Если способ действия тела состоит только в одном движении, то так называемые чувственные качества, например цвет, звук, запах и т. д., представляют не особые свойства тел, а только формы восприятия органами чувств ощущающего субъекта движений, исходящих из тел. Всякому движению тела, передаваемому нашим органам чувств какой-нибудь средой, например воздухом, и распространяющемуся далее по нашему телу, соответствует в последнем обратное движение. Эта реакция нашего тела есть ощущение» *Все то, что мы называем ощущениями, представляет, следовательно, лишь видоизменения нашего собственного тела, обусловленные движениями внешних тел, но не имеющие по своему характеру с ними ничего общего*. Этот сенсуализм, господствующий до сих пор в нашей физиологии, приводит к дальнейшим трудностям. Раз мы не познаем непосредственно нашими чувствами сущности вещей, раз наши чувства дают лишь знаки движений, совершенно отличные от них, — перед нами во всей силе встает вопрос, *каким образом вообще возможно правильное познание внешнего мира*. Философия очевидно, должна в первую очередь заняться этим вопросом и, следовательно, стать, прежде всего, *теорией познания*. Такою она и является в лице ближайшего преемника Гоббса *Джона Локка*¹ (1632—1704) и в его капитальном философском трактате «*An Essay concerning human understanding*» (Лондон, 1690). Однако в таком виде философия находится в очень слабой связи с физикой и может приобрести большое значение для нее, как и для других наук, только после достижения прочных и надежных выводов. До тех пор философии приходится лишь заимствовать материал исследования у точных наук, а отнюдь не руководить ими. Несколько иначе идет развитие *дедуктивной философии*, хотя, в конце концов, и оно приводит к той же точке отправления —

теории познания. Декарт, правда, думал, что дал своей философии прочные основы и обеспечил ее от всяких нападков; того же мнения держалась после него большая часть его учеников. Однако наиболее выдающиеся из его последователей, философы *Гейлинкс* (Geulinx, 1625—1669) и *Мальбранш* (1638—1715) сознавали уже необходимость и важность *новых исследований в области теории познания* и пытались упрочить основы картезианского

¹ Локк в своем мировоззрении тоже атомист и объясняет все ощущения движениями мельчайших частиц тел.

ЖИЗНЬ ГЕРИКЕ 155

учения в этом именно направлении. Впрочем, дедуктивная школа продержалась долее индуктивной, и *натурфилософия Декарта преобладала не только в течение рассматриваемого периода, но и за его пределами во Франции, в Германии, Голландии и даже в Англии.*

В среде самих физиков наметилось значительное географическое перемещение. *Наука передвинулась на север и здесь на нетронутой почве нашла новую пищу для дальнейшего быстрого роста. В Италии,* — где католическая церковь следила за свободной наукой с недоверием и угрозой, где кардинальскую шляпу давали в награду за упразднение ученой академии, где ни одно светское государство не смело восставать против непосредственного вмешательства близкой папской власти в научные вопросы, — дух исследования постепенно окончательно угас. Напротив, во *Франции* с основанием Парижской академии научная жизнь быстро расцвела, хотя и не надолго, так как и здесь последовала реакция под клерикальным давлением. Отмена Нантского эдикта, уже давно нависавшая тяжелой угрозой и, наконец, приведенная в исполнение в 1685 г., лишила страну не только значительных промышленных сил, но и таких научных светил, как Гюйгенс, Ремер, Папен и др., потеря которых оставила продолжительный след. В *Англии* религиозные войны вначале тоже замедлили научное развитие; но с наступлением внутреннего покоя, после реставрации 1660 г., естественные науки оживились и достигли такого блеска, что англичане в следующем периоде сделали, бесспорно, руководящей нацией.

Германия все еще не могла оправиться от последствий своей великой войны. За исключением гениального *Герике*, не утратившего ни научного интереса, ни свежести сил среди военных бурь, едва ли можно указать в этом периоде на выдающегося немецкого физика. Зато *Голландия* дала науке *Гюйгенса* и многих замечательных математиков, а *Северные государства* достойно заявили о себе в области физики в лице *Олафа Ремера, Эразма Бартолинуса* и др.

ОТТО ФОН-ГЕРИКЕ родился 20 ноября 1602 г. в Магдебурге. Отец его был магдебургский патриций Ганс Герике, мать — урожденная фон-Цвейдорф из Брауншвейга. Первое образование он получил в училище своего родного города, находившегося в ту пору в периоде расцвета. Университетский курс он начал в 1617 г. в Лейпциге, но с приближением Богемской войны к саксонской границе он должен был перебраться (1620) для окончания курса в Гельмштедт. В сентябре 1620 г. умер его отец, и мать оставила его на зиму при себе. Затем в течение двух лет он пробыл в Йенском университете, занимаясь преимущественно юриспруденцией, которой предназначал себя, а в 1626 г. для усовершенствования в науках отправился в Лейден, где наряду с новыми языками много занимался физикой, прикладной математикой, и фортификацией. После свыше девятимесячного путешествия по

156 ЖИЗНЬ ГЕРИКЕ

Англии и Франции Отто Герике вернулся в родной юрод, поступил в 1626 г. в городской совет и в том же году женился на девушке из весьма уважаемого семейства, Маргарите Алеманн. Из трех детей его остался в живых только один сын. Вследствие преобразования городского управления, в котором он мало участвовал, Герике (вместе с советником Гроте) был избран охранителем и военачальником Магдебурга, и с честью выдержал осаду города полководцем Тилли. Когда, наконец, дальнейшее сопротивление стало невозможным и неприятель ворвался в город (20 мая 1631 г.), Герике поспешил к семье и вместе с ней нашел убежище у дяди, в замке Блекенбурге, пощаженном императорскими войсками (что касается его собственного имущества, то у него не осталось ничего, дом его был разграблен и слуги перебиты). Из Блекенбурга его вместе с семьей отвели в полевой лагерь при Фермерслебене, и хотя с ним обошлись хорошо, но отпустили лишь с выкупом в 300 талеров. Некоторое время спустя Герике, лишившись всяких средств к существованию, поступил в войско Густава-Адольфа в качестве генерал-квартирмейстера и инженера, и когда шведский генерал Баннер занял Магдебург, то вернулся в родной город, чтобы получить обратно свою недвижимую собственность. Он принимал деятельное участие в возобновлении разрушенных зданий и укреплений, построил через Эльбу мост на барках и служил инженером в магдебургском гарнизоне, занимаясь вместе с тем сельским хозяйством и пивоварением, так как его дом пользовался этим правом. В 1635 г., после мира между курфюрстом саксонским и императором, шведы были изгнаны, и город был занят императорскими и саксонскими войсками, оказавшимися для него большим бременем. Герике после многих хлопот и поездок к курфюрсту успел добиться замены этого гарнизона местным. *Город в знак признательности избрал в 1646 г. Герике своим четвертым бургомистром и с тех пор давал ему преимущественно дипломатические поручения.*

В том же 1646 г. Герике отправился к шведскому полководцу Торстенсону и, заручившись покровительством последнего для города, преподнес ему драгоценный письменный прибор, по-видимому, собственной работы, из вызолоченной меди, изображавшей небесный глобус, который приводился в движение часовым механизмом. В октябре 1646 г. он был послан в Оснабрюк присутствовать при переговорах о мире, главным образом, чтобы защитить свой город от алчных поползновений администратора архиепископа магдебургского. Эта цель была достигнута, так как мирный трактат оставлял за городом его старинные права, и Герике мог вернуться домой в августе 1647 г. Однако права, оставленные городу в статьях договора, были в действительности мало обеспечены, и Герике пришлось вновь отправиться в Оснабрюк, а затем, вслед за уполномоченными от воевавших государств, в Нюрнберг и, наконец, в Вену к императору. Только в начале 1651 г. мог он вернуться в Магдебург, проболев долгое время в Вене и не добившись ничего определенного в пользу своего города. По тому же делу он в 1652 г. отправился в Прагу, а оттуда — в Регенсбург хлопотать перед рейхстагом и вернулся в 1654 г. Затем в 1659 г. ему вновь пришлось ехать в Вену, где он оставался около года. По

окончании этой последней опять-таки безуспешной миссии он уже оставался дома в сравнительном покое¹.

При столь тревожной дипломатической деятельности до сих пор Герике мог посвящать своим плодотворным опытам по физике только незначительные свободные досуги; но теперь необременительные занятия бургомистра оставляли ему достаточно времени для составления обширного труда с изложением своих воззрений и открытий. Сочинение Герике, как видно из предисловия, было окончено 31 марта 1663 г., но разные обстоятельства — переговоры и недоразумения с амстердамскими издателями — задержали ее печатание. Наконец, в 1669 г. издание перешло к амстердамскому книгопродавцу Янсону (причем автор должен был получить в качестве гонорара 75 экземпляров при первом издании и по 12 при последующих). Но рисунки, приложенные к тексту, послужили поводом к новым проволочкам, так что только в 1672 г. вышла в свет книга под заглавием: «*Ottonis de Guericke Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De vacuo Spatio Primum a R. S. Gaspare Schotto, é Societate Jesu et Herbipolitanae Academiae Matheseos Professore: nunc vero ab ipso Auctore Perfectius edita, variisque aliis Experiments aucta. Quibus accesserint simul certa quaedam de Aeris Pondere circa Terram, de Virtutibus Mundanis, et Systemate Mundi Planetario; sicut et de Stellis Fixis, ac Spatio illo Immenso, quod tam intra quam extra eas funditur*». Это сочинение было разослано разным дворам и друзьям автора и произвело большое впечатление. Курфюрст Бранденбургский отзывался с похвалой об ученых заслугах Герике, а Христина Шведская писала ему, что прочла его книгу от начала до конца со вниманием и живейшим удовольствием; другие, конечно, больше, чем она, способны оценить научное значение его трудов, прибавляла королева, но и она, при всем своем невежестве, в состоянии понять, что эта книга одно из замечательнейших и удивительнейших произведений целого столетия. Впрочем, и ранее появления своего сочинения Герике был уже известен как физик. На рейхстаге в Регенсбурге он показывал знакомым устроенные им машины и приборы и получил приглашение повторить свои опыты в присутствии императора и всего собрания князей. Каспар Шотт в «*Mechanica hydraulica*» (1657) и «*Technica curiosa*» (1664) описал большую часть опытов Герике, и в 1663 г. имя его было уже настолько известно, что герцог Шеврез, проездом через Германию, нарочно заехал в Магдебург посмотреть на машины тамошнего физика. В 1666 г. император Леопольд возвел его в дворянское достоинство, после чего Герике изменил правописание своей фамилии, соответственно диплому, и стал писать von Guericke, вместо прежнего Gericke. Курфюрст Фридрих-Вильгельм Бранденбургский назначил его своим советником.

С 1676 г. Герике начал тяготиться обязанностями бургомистра и стал просить об увольнении его от должности, но окончательно добился отставки он не раньше сентября 1678 г. В 1681 т., когда в Магдебурге разразилась чума, болезненный старик, не поладивший с город-

¹ Магдебург, как известно, своих вольностей обратно не получил и в 1668 г. должен был признать власть курфюрста Бранденбургского.

158 ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОЗДУШНОГО НАСОСА

скими властями из-за имущественных вопросов, отправился в Гамбург к своему единственному сыну, бывшему там нижнесаксонским резидентом. Здесь он и умер в 1686 г. на руках жены и сына. Был ли, как это предполагалось, его прах перевезен в родной город, осталось неизвестным¹.

Побудительным мотивом к опытам Герике и открытию им воздушного насоса послужил старинный философский спор о пустом пространстве, спор, обострившийся с падением аристотелевского авторитета в естествознании и возрождением древней атомистики. Герике, стоящий, безусловно, на стороне эмпириков, утверждал, что «философы, которые держатся исключительно своих умозрений и *аргументов*, не принимая во внимание опыта, никогда не могут придти к надежным и правильным выводам относительно явлений внешнего мира. В самом деле, мы видим немало примеров, как человеческий разум, когда он не обращает внимания на результаты, добытые опытом, оказывается от истины на большем расстоянии, чем земля от солнца». По этой причине Герике и искал средство доказать наглядным опытом² существование пустого пространства. С этой целью он взял бочку, наполнил ее водой и попробовал выкачать воду посредством насоса, опущенного вертикально до дна бочки. Выкачивание удалось, но по мере удаления воды ее место заступал воздух, проникавший с шипением через стенки бочки. Тогда он попробовал окружить бочку, в которой должна была образоваться пустота, водой; но когда опыт не удался и в этом новом виде, он радикально изменил постановку опыта. Был заказан медный шар в 60—70 магдебургских мер вместимостью, с короткой выводной трубой, снабженной краном; шар навинчивался посредством трубки на цилиндр насоса, имевшего отверстие с пришлифованной металлической затычкой, которая открывалась всякий раз, когда поршень вдавливался в цилиндр. С этим инструментом Герике получил ожидаемые результаты — это был его *первый воздушный насос*. Но в его приборе был тот недостаток, что по мере образования пустоты в шаре поршень могли лишь с трудом приводить в движение двое работников. Это побудило его впоследствии укрепить цилиндр на привинченном к полу треножнике и заменить рукоятку поршневого стержня рычагом, один конец которого был прикреплен к тому же треножником. Чтобы обеспечить плотное закрывание крана у шара, он окружил соответствующую часть трубки воронкой с водой (см. рис. на стр. 166).

Уже с первым своим насосом Герике получил самые удивительные действия, ясно доказывавшие и *большую величину давления воздуха*, и *упругость последнего*. Когда выкачанный шар отвинчивался от цилиндра и кран открывался, воздух врвался в шар с такой силой, как будто хотел увлечь с собой близ стоящего человека. Уже на довольно большом расстоянии от шара у человека занимался дух; держать руку на кране было невозможно, не подвергая ее опасности быть втянутой. Когда воздух был выкачан из плоского стеклянного сосуда с параллель-

¹ *Hoffmann, Otto v. Guericke*, Магдебург, 1874.

² Торичеллиева пустота была ему еще в то время неизвестна.

ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА. МАГДЕБУРГСКИЕ ПОЛУШАРИЯ 159

ными стенками, давление внешнего воздуха раздробило его на тысячи кусков. Выкачанный шар Герике при помощи трубки сообщил с медным цилиндром около $\frac{3}{4}$ локтя в диаметре, по которому ходил поршень; последний втянулся в цилиндр до дна. Тогда 40 или 50 человек стали тянуть поршень из цилиндра, и когда вытянули его на полвысоты последнего, Герике снова сообщил цилиндр с совершенно выкачанным шаром — теперь все 50 человек уже не могли удержать на канате опускавшийся на дно цилиндра поршень. Опыт с так называемыми магдебургскими полушариями Герике показал 8 мая 1654 г. членам рейхстага в Регенсбурге незадолго до закрытия его заседаний. Он сам описывает этот опыт следующим образом: «Я заказал два медных полушария приблизительно в $\frac{3}{4}$ магдебургских локтя в диаметре, или точнее, — так как мастера не очень-то заботятся о строгом соблюдении заказанных размеров, — в 67 сотых локтя. Обе половины были совершенно одинаковы. Одна половина была снабжена краном или, скорее, клапаном, посредством которого мог извлекаться внутренний воздух из шара и впускаться наружный в шар. Кроме того, на обоих полушариях были железные кольца с пропущенными через них веревками для впрягания лошадей. Затем я заказал кожаное кольцо, пропитанное раствором воска в терпентине, чтобы оно не пропускало воздуха. Это кольцо было положено между полушариями, и из них быстро был выкачан воздух. При этом полушария оказались прижатыми к кожаному кольцу настолько сильно, что шестнадцать лошадей либо вовсе не могли разорвать их, либо разрывали с великим трудом. Когда разрыв происходил, то слышался звук вроде ружейного выстрела. Когда в пустоту полушарий вводился воздух, то равнять их было очень легко. Так как полушария после разрыва всегда несколько портились, особенно если они падали на землю, причем нарушалась их правильная кругообразная форма, то я заказал полушария большего размера, именно в 1 локоть диаметром. Но и тут медники не выполнили с точностью заказа: диаметр составлял лишь $\frac{95}{100}$ локтя. Эти полушария после откачки воздуха уже не разрывались 24 лошадьми; а когда в них был впущен воздух, они разнимались очень легко».

На рейхстаге в Регенсбурге Герике снискал особенное благоволение курфюрста Майнцского и Иоганна-Филиппа, епископа Вюрцбургского. Последний купил у него его приборы и предложил вюрцбургским профессорам повторить эти опыты в присутствии Герике. Тут-то с ним познакомился Каспар Шотт, описавший опыты Герике в сочинении, появившемся в 1657 г.

Упругость воздуха Герике доказал следующими опытами. Откачанный стеклянный шар он сообщил с другим, наполненным воздухом; из последнего воздух устремлялся в первый с большой силой и наподобие бури подбрасывал легкие тела, находившиеся в пустом шаре. Кроме того, он ввел в полость своих полушарий пузырь, наполненный воздухом, и показал, что по мере выкачивания воздуха пузырь все более и более растягивался, пока не лопнул с треском. *Убедившись в упругости воздуха, Герике заключил, что в нижних слоях атмосферы он должен быть плотнее, чем в верхних, и доказал это особым опытом, без помощи своего насоса. С этой целью он брал стеклянные шары,*

160 УПРУГОСТЬ ВОЗДУХА. МАНОМЕТР. ВОДЯНОЙ БАРОМЕТР

запирал их краном у подошвы башни или горы и затем, отворяя кран наверху башни или на вершине горы, наблюдал, что воздух выходил из шара с шипением. Когда истечение воздуха прекращалось, он запирал кран, спускался вниз и снова отворял его — теперь воздух извне входил в шар. Эти наблюдения навели его на мысль устроить прибор для измерения плотности воздуха, или манометр. Этот прибор состоял из медного шара около 1 фута в диаметре, который откачивался, плотно закупоривался и подвешивался к плечу чувствительных весов, на противоположном плече которых находился уравнивающий тяжесть груз возможно малого объема. Так как противовес вытеснял лишь незначительный объем воздуха, то Герике считал возможным принять, что его вес остается неизменным. Медный же шар при большом объеме должен был терять в весе столько, сколько весит вытесняемый им объем воздуха, и конечно, тем более чем плотнее воздух, и наоборот. В первом случае перевешивал противовес, во втором — шар. Отклонение отмечалось показателем, прикрепленным к коромыслу и ходившим по дуге круга с градусными делениями. Этот прибор описан Герике впервые в письме к К. Шотту от 1661 г.; тогда ему уже были известны открытия Торичелли, о которых он узнал от капуцинского монаха Валериана Магнуса «а Регенсбургском рейхстаге».

Еще ранее устройства этого манометра Герике пытался построить *барометр*, а именно *водяной*. По надворной стене собственного дома он вывел медную трубку в 20 локтей длины и в палец толщины, сверху надставил ее стеклянной трубкой, а нижний свободный конец погрузил в сосуд с водой. Выкачав трубку сверху, он заметил, что вода поднялась примерно на высоту 19 локтей, но не всегда оставалась на одной и той же высоте. Колебания водяного столба на несколько ладоней вверх и вниз Герике приписал изменению давления воздуха и связал их с переменами погоды. В виду этого он ввел в трубку своего барометра маленькую человеческую фигурку из легкого дерева, которая указательным пальцем вытянутой руки показывала на шкалу, помещенную подле трубки. В письме от 1665 г. к смотрителю замка в Лейпциге Любиницкому сын Герике утверждает, что ежедневными наблюдениями за этим человечком в течение 6—7 лет была доказана зависимость погоды от его положения. На этом основании *изобретение данного прибора следует отнести к 1657 или 1658 гг.* Действительно, 9 декабря 1660 г. Герике на основании очень низкого стояния человечка предсказал бурю, которая через два часа и разразилась. Устройство прибора он держал в тайне, с каковою целью все части его, за исключением стеклянной трубки с фигуркой, были закрыты. Удивление, которое возбуждал движущийся человечек, ясно показывает, с какою медленностью распространялись в то время физические знания.

Герике без устали старался извлечь все возможное из своего насоса, и разнообразие его опытов ясно свидетельствует об остроумной изобретательности немецкого ученого. *Вес воздуха он определил, взвесив стеклянный шар, наполненный воздухом и пустой*, но не преминул заметить, что собственно о весе воздуха речи быть не может, потому что с плотностью изменяется и его вес. Поместив в сосуд часовой механизм с колокольчиком, он показал, что по мере выкачи-

ВОЗДУХ И ГОРЕНИЕ. ТЕРМОМЕТР. 161

вания воздуха звук слабеет, и этим опроверг перипатетиков, которые утверждали на основании опыта *Каспара Бертуса* в Риме, что в торичеселлиевой пустоте должен заключаться воздух, так как в ней слышен звон колокольчика. Поместив в сосуд зажженную свечу, Герике заметил, что в пустоте она погасла, и отсюда заключил, что *для горения нужен воздух*. Этот вывод он подтвердил и другим опытом, в котором зажженная свеча помещалась в сосуде, опрокинутом в воду. Здесь горение сопровождалось втягиванием воды в сосуд, откуда следовало, что *пламя потребляет воздух*. Из того факта, что свеча гасла раньше, чем потреблялась большая часть воздуха, Герике сделал вывод, что пламя портит воздух. В заключение он ставит вопрос, пожирается ли воздух в смысле полного его уничтожения или же он растворяется в каком-нибудь земном веществе, и склоняется в пользу последнего предположения. Чтобы настоящим образом оценить непредубежденность ума немецкого ученого и ту тщательность, с которой он производил опыты по вопросу, столь трудному для того времени, как горение, стоит лишь сравнить описанные выше факты с усилиями Декарта (в его «Началах», 1644) доказать, что лампы могут гореть в герметически закрытых пространствах годы и даже столетия, не потухая. Заметив, что *впускание воздуха в откачанные сосуды сопровождается оседанием паров*, Герике не приписал их, согласно очень распространенному тогда мнению, превращению воздуха в воду, а объяснил тем, что вода всегда находится в виде паров в воздухе. При посредстве своего насоса он старался устроить *духовое ружье*, но остался недоволен выполнением, вследствие чего оно и осталось без употребления. К устройству же *термометра* насос был применен им с положительным успехом.

Мы уже видели в начале XVII столетия, что Галилей изобрел воздушный термометр. Этому прибору Герике придал потом другую форму, которая более соответствовала его вкусу к сильным действиям. К большому полюму медному шару была припаяна медная длинная трубка диаметром в 1 дюйм, опускавшаяся от шара отвесно вниз и снова поднимавшаяся наподобие сифона вверх почти до уровня шара. Трубка была наполнена винным спиртом, сверх которого плавал медный поплавок; от последнего шла нитка, перекинутая через блок, с фигуркой на свободном конце. Фигурка показывала на шкалу, где были обозначены наибольшее тепло, наибольший холод и средняя температура для Магдебурга. Весь инструмент, за исключением шара, шкалы и фигурки, был замаскирован и прикреплен к теневой наружной стене дома Герике. Шар был голубой, усеян золотыми звездами и нес на себе надпись большими золотыми буквами: *Perpetuum mobile*. Этот прибор вообще не был точнее галилеевского, потому что на его показания помимо теплоты влияло и давление воздуха; но некоторый шаг к усовершенствованию все-таки был сделан. *Герике заметил, что крайне важна возможность сравнивать показания различных приборов, и озаботился поэтому обозначить на своей шкале постоянную точку*. За таковую он принял среднюю температуру во время первых заморозков; чтобы поставить фигурку на соответствующую точку, он выкачивал воздух из шара через запирающееся отверстие до тех пор, пока фигурка не

останавливалась на намеченной точке. К сожалению, температура эта не годилась для постоянной точки термометрической шкалы.

В заключение нельзя не упомянуть об открытиях Герике в совершенно иной области, именно в области *электричества* и *магнетизма*. Знакомясь с работами иностранных ученых, он не только проверял их, но и пытался вести их дальше. Так было с работами Гильберта и *его* последователей по магнетизму и электричеству. Чтобы наладить электрические опыты более удобно, чем Гильберт, и получать более сильные действия, Герике, устроив шар из серы величиною в детскую голову, насадил его на железную ось с рукояткой и установил на деревянном штативе. При вращении шара для натирания его служила ладонь человеческой руки. С этим-то зародышем электрической машины Герике удалось существенно пополнить скудные электрические сведения своего времени. Так, он наблюдал, что *пушинка не только притягивается натертым шаром, но через некоторое время отталкивается им*; ему даже удавалось, сняв шар с штатива, заставить пушинку плавать в воздухе. Далее он заметил, что *пушинка, раз оттолкнутая от шара, начинает притягиваться к другим телам, между прочим, и к носу экспериментатора, и снова притягивается шаром, если до нее дотронуться посторонним телом, например, льняной ниткой*. Если к пушинке, притянутой шаром, приблизить палец, то она притягивается последним, потом опять шаром, и это повторяется несколько раз. К скамейке была прикреплена деревянная стойка, с вершины которой спускалась льняная нитка более чем в локоть длины. Натертый серный шар приближался к вершине стойки, а к нижнему концу нитки подводился палец на два какой-нибудь посторонний предмет, — тогда конец нитки притягивался к последнему. Таким образом Герике показал, что *электрическая сила может распространяться по льняным ниткам на длину одного локтя*. Натирая рукою шар в темноте, он наблюдал *слабое свечение*, какое бывает при разбивании сахара, а, поднимая шар к уху, слышал *слабый треск*. Впрочем, возможно и даже вероятно, что Герике слышал при этом не звук электрического разряда, а треск от разрыва кристаллов серы, вследствие согревания его от натирания рукой. По крайней мере, у самого Герике по этому поводу мы читаем следующее ¹: «Шар обладает также способностью звучать, потому что если поднести его к уху, держа в руке, то в нем слышится шорох и треск». Еще замечательнее другое описанное перед этим наблюдение ²: «Также и вращающая сила не может быть представлена надлежащим образом поворотами шара вокруг его оси, потому что пушинка (лишь только она отклонится от шара в сторону) тотчас же под влиянием притягательной силы земли уклоняется вниз, и это мешает ей двигаться вокруг шара. Но вращательное движение в самой пушинке может быть показано очень легко, если обводить вокруг нее шар». При этом, по его словам, вращающаяся пушинка остается обращенной к шару всегда одной и той же стороной. Герике повторяет, следовательно, существовавшие в то время предположения, что вращение

¹ Experimenta nova, кн. 4, гл. 15, пар. 6.

² Ibid, пар. 5.

РОЛЬ ГЕРИКЕ В ИСТОРИИ ФИЗИКИ 163

небесных тел производится магнитными и электрическими силами. В области магнетизма Герике тоже принадлежит несколько интересных наблюдений. Он нашел, что железные прутья намагничиваются, если их слегка проковывать на наковальне, положив по направлению с севера на юг. По его наблюдениям, сами собой намагничиваются и железные прутья в оконных решетках, причем наверху оказываются северные полюсы, а внизу — южные.

Считать Герике изобретателем электрической машины едва ли возможно; его прибору, предназначавшемуся для удобной электризации больших тел, недоставало кондуктора, этой характерной по нашим нынешним представлениям части машины. Но зато ему можно приписать открытие электрического отталкивания, электрического свечения (не искр) и первых явлений, касающихся электропроводности и электрической индукции.

Из всех исследований Герике электрические обратили на себя меньше всего внимания. Герике вообще любил показывать свои опыты перед многочисленными зрителями. Хотя в своих опытах по электричеству он добился гораздо больших эффектов, чем это можно было наперед ожидать, но они все-таки не были настолько велики, чтобы получить большую известность в широких кругах.

Когда в первый раз слышишь об открытиях знаменитого магдебургского бургомистра, он представляется нам гениальным изобретателем физических приборов, но никак не ученым физиком. Крупные масштабы его опытов и значительность достигаемых ими действий кажутся как бы рассчитанными больше на то, чтобы действовать на массы, чем на служение научным целям. Однако при более вдумчивом отношении такое представление оказывается неправильным. *Герике вовсе не задавался исключительно целью удивлять публику, он всегда руководился чисто научными интересами и выводил из своих опытов не фантастические идеи, а правильные и вполне научные заключения.* Погоня за пустым пространством, казавшимся столь важным для новой атомистики, привела его к воздушному насосу; спор о давлении воздуха привел его к полушариям с их огромной доказательностью; упругость воздуха им была доказана неопровержимо; им была твердо установлена необходимость воздуха для горения и пр., и пр. Вообще мы не встречаем у него дилетантизма ни в целях, ни в умозаключениях, как это нередко бывало с экспериментаторами того времени. *Герике, конечно, не был физиком, действовавшим по определенным нормам той или другой школы; но он был больше, чем это, он обладал гениальным умом, верно схватывавшим потребности науки, будучи в то же время очень искусным экспериментатором, знающим математику, проявляющим всегда интерес к числу и мере.* В своем сочинении Герике далеко не ограничивается перечисленными нами проблемами. В его семи книгах мы находим также не лишние глубины и всегда здравые рассуждения о свете, о брожении и об устройстве вселенной. То обстоятельство, что Герике не привел своих физических открытий в систему, объясняется отчасти тем, что он как пионер науки не очень заботился о полном упорядочении завоеванных им областей, всего же больше — тогдашним политическим положением дел в Германии и общественным

164 ДАТЫ ОТКРЫТИЙ ГЕРИКЕ

положением самого Герике. Тот факт, что в течение великой немецкой войны при всеобщем истощении нации человек мог сделать столько, сколько сделал Герике, да еще человек, обремененный делами городского представительства, не может не вызвать удивления его деятельности и сожаления, что ему суждено было быть бургомистром в столь тревожное время. При всем том он, наряду с Кеплером, бесспорно, — величайший из немецких физиков XVII столетия и один из значительнейших физиков вообще. Для нас, немцев, это — светлый образ на фоне эпохи великого национального бедствия.

Времени отдельных своих открытий Герике сам не указывал. До сих пор временем изобретения воздушного насоса считали 1650 г.; но это во всяком случае неверно, так как с марта 1649 по март 1651 гг. Герике был вне Магдебурга в Оснабрюке, Нюрнберге и Вене, где, при многочисленности дипломатических занятий и своей болезненности, он сделать этого открытия не мог. Д-р Церенер¹ относит все физические открытия Герике к 1632—1638 гг., потому что такого мнения держится правнук Герике Ф. Бидерзее и потому что во всю жизнь Герике вплоть до 1663 г., когда «Experimenta nova» были окончены, у него не было периода более спокойного. Нам же эта дата кажется слишком ранней, так как Бидерзее относит, например, к периоду до 1646 г. и изобретение барометра с человеком, а по приведенному выше свидетельству сына Герике это изобретение приходится на 1657 или 1658 г. Правда, начиная с 1638 г., а еще больше с 1642 г., время у Герике поглощалось преимущественно ненаучными делами, но это еще не значит, что оно поглощалось полностью. Возможно, что *он закончил свои первоначальные опыты в полторагодовые промежутки с августа 1647 г. по март 1649 г. или с начала 1651 г. по август 1652 г., которые он прожил в Магдебурге, и только после этого пришел к устройству своего насоса.* Это кажется нам тем правдоподобнее, что с 1638 по 1651 г. об опытах Герике нет никаких сведений, а они при их масштабе не могли бы остаться незамеченными.

Мунке² указывает (на основании данных гинденбургского «Magasin'a», X, 120), что Герике уже в 1651 г. подарил воздушный насос Кельнскому магистрату. Герланд³ считает эту цитату неверной. Если согласиться с последним, то следует *позднейшим сроком изобретения воздушного насоса считать 1652 г.*, так как с августа 1652 г. до 1654 г., когда Герике показывал свои опыты в Регенсбурге, он в Магдебурге не провел и четырех месяцев.

Относительно электрических опытов Герике д-р Церенер утверждает, что он занимался ими не позже 1653 г., так как из писем Герике к Шотту якобы явствует, что с 1653 г. он исключительно занимался безвоздушным пространством. Но тогда и эти опыты следовало бы отнести к промежутку с 1632 по 1638 г.

Однако, последнее по указанным ранее соображениям неприемлемо, а так как и отрицательное показание писем кажется нам недоста-

¹ Otto v. Guericke's Exper. nova neu edirt und mit einem hist. Nachwort versehen von Dr. Zerener, Лейпциг 1881.

² Gehler, Physik. Wörterbuch, 2-te Auflage, VI, 527.

³ Bericht über d. wissenschaftliche Apparate, стр. 33.

ЖИЗНЬ БОЙЛЯ. АТОМИСТИКА 165

точно надежным, то мы в качестве *позднейшей даты для электрических открытий Герике берем 1663 г.*, в течение которого по собственному показанию последний закончил свою работу.

Из аппаратов Герике воздушный насос и два полушария сохраняются в Берлинской библиотеке. Другой насос, приписываемый Герике, сохраняется в городской библиотеке Магдебурга (Hoffmann, стр. 220). О первой электрической машине (?) Герике, попавшей в 1815 г. в собрание Брауншвейгской политехнической школы, см. Zenger, Nachwort, стр. IX и X.

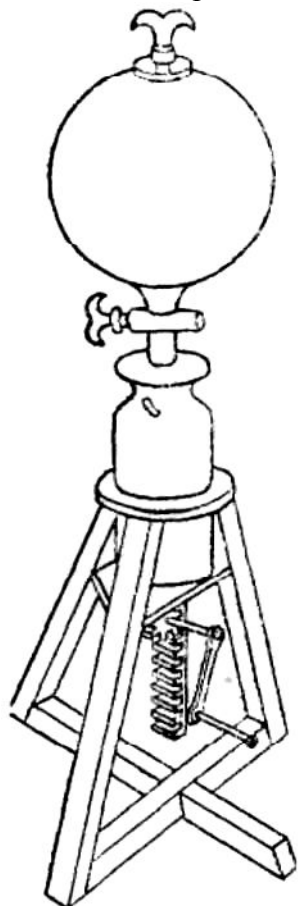
Прямым наследником Герике по пневматическим опытам был Бойль. *РОБЕРТ БОЙЛЬ*, сын графа Ричарда Коркского, родился 25 января 1627 г. в Лисморе (Ирландия, графство Корк). Образование, полученное им в Итоне, он восполнил путешествиями по Франции, Швейцарии и Италии. Получив значительное состояние по смерти отца, он поселился сначала в своем ирландском поместье Стальбридже, где занимался преимущественно религиозными и философскими вопросами. Но в 1654 г. он переселился в Оксфорд, стал заниматься больше химией и физикой и поступил в члены только что образовавшегося научного общества. В 1668 г. он последовал за этим обществом в Лондон, где и умер в 1691 г. (30 декабря). Он всю жизнь оставался холост и не занимал никакой публичной должности; всю свою жизнь он посвятил религии и естествознанию. Будучи строгим, даже нетерпимым последователем англиканской церкви и в то же время горячим защитником и проповедником христианства, он, тем не менее, смотрел на вселенную с чисто механической точки зрения, и одна только целесообразность механизма самоуправления вселенной приводила его ум к признанию творца с его высшим разумом и всемогуществом. Его многочисленные сочинения появились сначала на английском языке, потом большею частью в латинском переводе; многие из его работ помещены в «Philosophical Transactions». Полное собрание сочинений Бойля издано в 5 томах Т. Бирчем в 1744 г. (Лондон).

По философским основам своего мирозерцания Бойль был приверженцем Гассенди и вместе с последним был почитателем Эпикура. Подобно древним атомистам, он принимает существование абсолютно пустого пространства, в котором заключены мельчайшие частицы материи, имеющие определенную форму, величину и движение. *Обсуждая агрегатные состояния веществ, он полагает, подобно Декарту, что атомы жидкостей находятся в постоянном движении, а частицы твердых тел — в покое.* Промежутки между атомами он тоже не считает совершенно пустыми, а заполненными тонкой материей, не оказывающей почти никакого сопротивления. В доказательство постоянного движения жидких частиц он указывает на растворение твердых тел, а также на постоянное смещение жидкостей, например белого вина с красным. Однако Бойль не считает, подобно Декарту, инерцию материи единственной причиной твердости. *Атомы твердых тел он представляет*

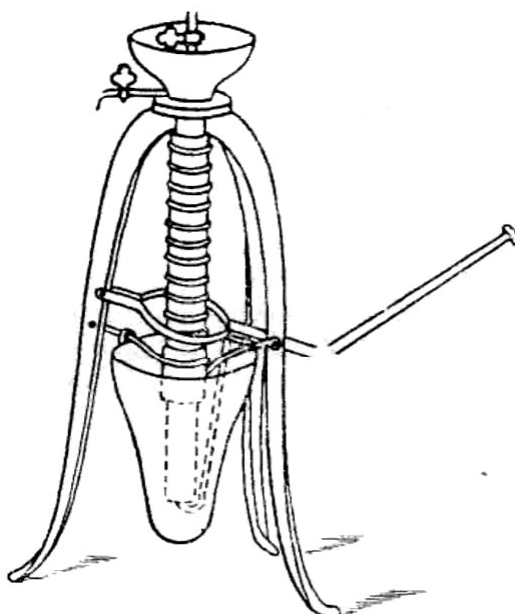
¹ О воззрениях Бойля на материю и ее свойства см. в „Sceptical Chemist“ (1661); Origin of forms and qualities according to the corpuscular philosophy (1664; Physiological Essays (1661).

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕЛ

себе продолговатыми и многообразно переплетенными друг с другом. Для больших же масс он привлекает на помощь, — как некогда Галилей *horror vacui*, — еще давление воздуха. К последней мысли Бойль был приведен наблюдением, что матово отшлифованные стеклянные пластинки плотно прилипают друг к другу. От него, правда, не ускользнул тот факт, что слипание продолжается и под колоколом воздушного насоса, но он считал, что оно при этом ослабевает¹. Выводя все изменения вещества из соединения и распада атомов,



Черт. 9. Насос Бойля.



Черт. 10. Усовершенствованный воздушный насос Герике.

Бойль отвергал не только четыре основные элемента Аристотеля, но и три элемента алхимиков, утверждая, что таких элементов много и что они будут постепенно открыты по мере разложения веществ. Из сочинения Каспара Шотта (1657) Бойль познакомился с опытами Герике. Принявшись тотчас же за их повторение, он изложил результаты своих работ в сочинении «*New experiments physico-mechanical, touching the spring of the air*» (Оксфорд, 1660). Здесь он описывает новый насос, устроенный при содействии Гука, тождественный по принципу с насосом Герике, но более удобный для работы. Бойль удержал первую форму насоса с краном и затычкой, но укрепил прибор на штативе и устроил поршневую стержень с зубцами, которые

¹ Подобные воззрения на причину твердости были тогда распространены повсеместно. Оноре Фабри в своей «*Physical*» (1669) утверждал, например, что частицы твердых тел сцепляются наподобие зубьев пил своими выступами и углублениями или переплетаются, как волокна в дереве.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗД. НАСОСА. ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА 167

захватывались зубчатым колесом с рукояткой. С таким насосом мог уже управиться один человек, и работа облегчалась еще тем, что в приемнике, имевшем форму бутылки, сделано было отверстие, плотно запиравшееся пластинкой. Впрочем, мы уже упоминали, что Герике впоследствии усовершенствовал свой прибор: благодаря предохранительному запору поршня и крана водой он мог доводить разрежение воздуха значительно дальше, чем Бойль. Приведенные здесь схематические чертежи дают общее понятие о приборах обоих исследователей. Подтвердив все результаты своего предшественника, Бойль прибавил к ним несколько новых. Он *наблюдал, что ртуть падает, когда над ртутной ванной барометра выкачивают воздух; что в пустоте течение воды по сифону прекращается; что дым в пустом сосуде сначала несколько поднимается, а потом, подобно всякому тяжелому телу, падает на дно; что и в пустоте получается тепло при трении определенных тел друг об друга, а также и при гашении извести*. Наконец, к большому своему удивлению, он сделал открытие, что теплая вода в разреженном воздухе закипает, холодную же этим путем до кипения довести невозможно. Далее, Бойль нашел, что воздух от горения изменяется и что в пустоте не удастся зажечь многих тел, легко воспламеняющихся при обыкновенных условиях. Однако в данном вопросе Герике ушел дальше, так как Бойль даже не заметил, что часть воздуха при горении поглощается.

Несмотря на множество уже существовавших в то время очевидных доказательств, некоторые поклонники древних все еще не могли понять, как может жидкость, столь тонкая и податливая во все стороны, как воздух, уравнивать столб ртути в 28 дюймов. К числу их принадлежал и лютийский профессор *Франциск Линус* (1595—1675), нашедший, что ртуть удерживается в верхнем конце барометра невидимыми нитями (*funiculi*) и что он сам почувствовал эти нити пальцем, когда закрывал им, как затычкой, барометрическую трубку. Против него-то Бойль и написал «*A defense of the doctrine touching spring and weight of the air*» (Лондон, 1662), брошюру с экспериментальными доказательствами закона, который был важнее всех доводов Линуса. Чтобы убедить Линуса в существовании сопротивления воздуха, он взял изогнутую в виде сифона стеклянную трубку с запаянным коротким коленом и наполнил ее через длинное (открытое) колено ртутью. По мере приливания ртути воздух в коротком колене сжимался, но продолжал уравнивать все больший и больший столб ртути. После этого Бойль составил таблицу уменьшающихся объемов воздуха и соответствующих избытков давления в длинном колене; но отношение между обеими этими величинами он оставил без всякого внимания. Оно было подмечено лишь его учеником Ричардом Тоунлеем, который сделал на основании таблиц Бойля тот вывод, что *объемы сжимаемого воздуха обратно пропорциональны силам давления*. Бойль согласился с правильностью этого закона и доказал, что он распространяется и на давления меньшие атмосферного. Тем не менее, этот основной закон аэростатики не сохранил имени первого, открывшего его ученого, а связан с именем (закон Мариотта) другого физика, который лучше Бойля сумел оценить его

168 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ. ЦВЕТА ТЕЛ

значение. Против старого мнения, будто более легкие жидкости не производят никакого давления на более тяжелые, Бойль выступил в своем исследовании о равновесии жидкостей *«Hydrostatical paradoxes»* (1666). Однако здесь он, в сущности, не пошел дальше Стевина, и сочинение это для нас интересно только в том отношении, что оно указывает, какие положения в то время считались парадоксами.

После появления оригинального сочинения Герике (1672) Бойль повторил также его опыты по электричеству и магнетизму, и прибавил к ним кое-что новое. *Все тела обнаруживают большую электрическую силу, если перед натиранием их чисто вытереть и нагреть; дым пламени притягивается наэлектризованными телами, как всякое другое легкое вещество; не только ненаэлектризованное тело притягивается наэлектризованным, но и, наоборот, второе притягивается первым.* Наконец, оказалось, что *в пустоте электрические опыты удаются так же, как в обычных условиях.* Однако железо, в начале выкачивания продолжавшее прочно удерживаться магнитом, с увеличением разрежения отпадало. Отсюда Бойль сделал вывод, что воздух, не играя роли в притяжении железа, содействует удержанию последнего магнитом; в действительности же ему следовало подумать, не влияет ли здесь все более и более усиливающееся сотрясение прибора при выкачивании воздуха.

Исследования Бойля о *свете* помещены в сочинении *«Experiments and considerations touching colours»*, появившемся впервые в Лондоне в 1663 г. Целый ряд наблюдений убедил его, что часто изменения поверхностей тел, которые нельзя считать настоящими вещественными изменениями, вызывают перемену их цвета. К таким случаям он причисляет: изменение цвета стали при закаливании, изменение цвета расплавленного свинца, когда его поверхность быстро очищается от землистого налета, изменение цвета плодов при нагревании и т. д. *На этом основании он не считает окраску свойством самих тел; он отрицает существование постоянных цветов* и полагает, что цвета производятся определенными изменениями света на поверхности тел, действующими различно на глаз. *Белые тела — это те, которые всего полнее отражают его; черные — те, которые всего сильнее поглощают его.* Вот доказательства: кровельная черепица, выкрашенная наполовину в черный цвет, оказывается на солнце гораздо теплее в черной своей половине; зажигательное зеркало зажигает черную бумагу значительно скорее, чем белую; даже рука в черной перчатке становится теплее, чем в белой. Прочие цвета распределяются между белым и черным, так что, смотря по количеству отраженного света, получается последовательно красный, желтый, зеленый и голубой. *Бойль первый упоминает о цветах тонких плёнок*, которые он наблюдал на спирте и скипидаре, взбалтывая их до появления пузырей, также на мыльных пузырях и тонких стеклянных шарах. Такие цвета, прибавляет он, можно видеть на всякой жидкости. Бойль обратил также внимание на зеленую окраску гонких золотых листков в проходящем свете. *Объяснения этих замечательных явлений он не нашел и, по-видимому, не искал.* Во всяком случае, его мысль, что все вообще цвета суть видоизменения белого света поверхностью тел, была важным шагом вперед в сторону Ньютона, который, действительно,

ОПЫТЫ НАД ВОДОЙ И ЛЬДОМ 169

три года спустя после выхода книги Бойля представил Королевскому обществу свое первое сочинение о теории цветов.

Нам остается еще упомянуть о некоторых других интересных опытах Бойля. Он повторил старые опыты с выращиванием растений в воде и пришел к заключению, что вода при этом процессе *как бы превращается в землю*. Производя затем перегонку воды до 200 раз, он при каждой пробе получал землистые осадки; однако он не счел этого результата достаточно убедительным и высказал предположение, что некоторая *часть* земли может происходить от стеклянных сосудов, служивших при перегонке. *Бойль считал упругость воды весьма вероятной* на том основании, что при сильном выкачивании воздуха вода как бы растягивается, а при обратном впускании воздуха она как бы сжимается; и далее, на основании опыта с наполненным водой оловянным шаром, по которому он ударял плоским молотком: вода била при этом сверху высокой струей из проделанного в шаре отверстия. От Бойля не ускользнуло, что вода всегда содержит некоторое невидимое количество воздуха, и он считал возможным объяснить упругость воды присутствием в ней воздуха. Бойль заметил относительную легкость замерзшей воды и был склонен поставить ее в зависимость от воздушных пузырьков, находящихся во льду. *Громадную силу расширения воды при замерзании он показал* на опыте с ружейным дулом, которое было наполнено водой и оказалось разорванным на одном конце после двухчасового пребывания на морозе. Лед, по его мнению, *испаряется постоянно даже при сильном холоде*. Из жидкостей вовсе не замерзают или же замерзают с трудом: азотная кислота, спирт, соляная кислота, эфирные масла; относительно ртути Бойль указал на желательность опытов в холодных странах. Он производил много исследований с охлаждающими смесями, причем сделал важное открытие, что *все соли, производящие холод в смеси со льдом или снегом, при этом сами растворяются*.

Бойль был *замечательным экспериментатором*. Во многих вопросах он успешно конкурировал с флорентийскими академиками (о которых будет вскоре речь), а во многих соприкасался с ними. Планы всех его *опытов разрабатывались и выполнялись крайне тщательно, причем полученные результаты нередко проверялись многократными повторными опытами*. Он проник опытом во все почти отделы физики; везде находим мы его за проверкой старых и новых данных, притекающих к нему с разных сторон благодаря его обширным сношениям с учеными его времени. При этом все свои опыты он описывает с *такой точностью* (этим особенно пренебрегали в прежнее время), что повторное их воспроизведение не представляет затруднения. В пределах опытного исследования — однако не дальше — Бойль равен любому из новых физиков. К сожалению, он ограничивался только мастерским выполнением опытов. Когда же опыт удавался и получался достаточно надежный результат, его интерес к данному вопросу угасал. *Констатирование фактов для него — все, о разъяснении их смысла он так мало заботился, что ни разу не хотел высказаться в пользу какой-либо из нескольких возможных теорий. Встретить у него искусное применение гипотезы представляет большую редкость..*

170 ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОЦЕНКА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОЙЛЯ

В этом отношении его можно считать под сильным влиянием бэконовских учений. Согласно требованиям последнего Бойль собрал в отдельных областях материал для индуктивных умозаключений, противопоставляя друг другу в свободной форме положительные и отрицательные инстанции. Он не пошел, однако, дальше, быть может, вследствие убеждения в бесплодности этого пути. При таких условиях Бойль не мог подвинуть физику в той мере, как следовало ожидать по количеству его работ и по его искусству в области экспериментирования. Свое важнейшее достижение в области физики — открытие закона обратной пропорциональности между давлением и объемом газов — он завершил не прежде, чем его ученик сделал из добытых им результатов первый вывод, вследствие чего наука именно здесь и проглядела права Бойля на первенство.

В одном только случае Бойль следовал теоретическому пути; я имею в виду теорию атомов, с которой он, по собственным его словам, познакомился, к сожалению, слишком поздно. Хотя и здесь он опасался зайти чересчур далеко в своих выводах, тем не менее, наибольшим значением своим в науке он обязан именно атомистике. *Положив атомистику в основу своих химических взглядов, отбросив старые натурфилософские и алхимические элементы и обратив внимание на основные вещества, которые должны быть открыты по мере разложения тел; объясняя все химические изменения соединением и разъединением атомов, — Бойль установил для химии начала, которые она в наше время с блестящим успехом разработала, и таким образом сделался до известной степени родоначальником новейшей чисто научной химии.* Впрочем, даже в области химии его способность к обобщениям оказалась недостаточной. Наблюдения над изменением воздуха при горении не навели его, например, на мысль о происходящем при этом потреблении одной из составных частей атмосферы; своими наблюдениями над увеличением веса металлов при обжигании он тоже не сумел воспользоваться; а такие важные открытия, как получение газов из извести и укуса или из железа и соляной кислоты, дали ему только повод высказать мысль, что воздух может быть получен также и искусственно.

Наука, тем не менее, всегда с полным основанием высоко ценила заслуги Бойля. Что же касается его соотечественников, то они в своем энтузиазме не только признавали его действительные заслуги, но и приписывали ему чужие открытия, повторенные им для проверки. Так, патриотическое усердие побудило их не совсем извинительным образом проглядеть заслуги Герике и приписать их своему земляку Бойлю.

Под покровительством *великого герцога Токсанского Фердинанда II* (1610—1670) и его брата *принца Леопольда Медичи* (1617—1675) была учреждена в 1657 г. знаменитая *ACCADEMIA DEL CIMENTO*, Академия опытов. Оба брата живо интересовались физикой, хотя не настолько, чтобы оставаться верными науке в трудных обстоятельствах. Фердинанд II отказался защищать своего придворного математика и бывшего учителя Галилея против инквизиции; и оба брата не задумались принести в 1667 г. свое создание, академию, в жертву, когда Рим потребовал упразднения ненавистного ему учреждения

ACCADEMIA DEL CIMENTO. ЕЕ СОТРУДНИКИ 171

в обмен за кардинальскую шапку для председателя академии принца Леопольда. Академия просуществовала, таким образом, не более 10 лет. Она состояла из 9 членов и нескольких корреспондентов.

Наиболее выдающимися членами ее были: 1) *Винченцо Вивиани* (1622—1703), известный уже нам в качестве ученика Галилея; 2) *Джиованни Альфонсо Борелли*, о самостоятельных работах которого будет речь впереди; 3) *Франческо Реди* (1625—1676), лейб-медик великого герцога; 4) *Лоренцо Магалотти* (1637—1712) секретарь академии и великого герцога; 5) *Антонин Улива* (умер 1668); 6) *Карло Ренальдини* (1615—1698), профессор математики в Пизе, а затем в Падуе и 7) *Кандидо дель-Буоно* (1618—1676). Из корреспондентов академии заслуживают внимания: кардинал *Риччи* (1619—1682); астроном *Кассини* (1625—1712), профессор математики *Монтанари* (1633—1687); замечательный геолог *Николай Стеноне* (датчанин, настоящее имя которого было, вероятно, Стеен); библиотекарь парижской королевской библиотеки *Тевно* (1620—1692) и иезуит *Оноре Фабри* (1606—1688). Флорентийские академики работали совместно и публиковали свои труды сообща, не выделяя заслуг того или другого лица. Работы академиков были изданы под заглавием: *Saggi di naturaii esperienze fatte neil Accademia del Cimento* (Флоренция. 1667). Голландец *П. Мушенбрек* перевел эту книгу на латинский язык: *Tentamina experementorum naturalium captorum in Accademia del Cimento* (Лейден, 1731); а в 1841 г. на собрании итальянских естествоиспытателей великому герцогу Тосканскому Леопольду II был поднесен в дар экземпляр «Трудов» академии в новом издании, дополненном и исправленном заботами *Антинори*.

«Saggi» разделяются на тринадцать глав, содержание которых мы здесь вкратце приводим.

7. *Об измерительных приборах.* Флорентийцы первые стали употреблять *настоящий термометр*, у которого из трубки и шара удален воздух, а верхний конец залит герметически сургучом, чтобы давление воздуха не могло влиять на прибор; кроме того, они первые стали наполнять термометр спиртом вместо подкрашенной воды. С другой стороны, шкала на термометрах осталась совершенно произвольной, число принятых градусов в различных приборах было неодинаково, и постоянные точки определялись только по наибольшему зимнему холоду и наибольшему летнему зною во Флоренции. Таким образом сравнение показаний различных термометров было все еще невозможно. Этот прибор, впрочем, существовал уже в 1641 г., т. е. еще до основания академии; по-видимому, он был сделан по мысли самого великого герцога Фердинанда II; насколько помогли ему при этом придворные ученые, остается неизвестным. Разным образом Фердинанду приписывают изобретение *гигрометра*, применявшегося флорентийцами. Де-Куза и Мерсенн упоминают уже о наблюдениях над влажностью воздуха; но прибор флорентийских академиков впервые был приспособлен для подобных измерений. Он состоял из жестяной воронки, наполненной внутри толченым льдом; на наружной поверхности оседала влажность, стекавшая с конца воронки в измерительный сосуд. Наконец, нужно еще заметить, что флорентийцы

употребляли оба рода *ареометров* (весовой и объемный) для определения удельного веса и *бифилярно подвешенные маятники* для определения времени.

2. О *воздушном давлении*. В этом отношении флорентийцы мало в чем опередили Герике и Бойля, хотя и повторяли их опыты с большею тщательностью. Флорентийцам принадлежит, впрочем, открытие, что капиллярное притяжение совершенно не зависит от давления воздуха.

3. Об *искусственном замораживании воды*. В этой главе описаны почти те же опыты, которые делал Бойль с расширением и уменьшением удельного веса льда и с охлаждающими смесями.

4. О *естественном льде*. Эта глава особенно замечательна изложенным в ней наблюдением, что холод, подобно теплу, распространяется путем излучения. Академики поставили вогнутое зеркало на значительном расстоянии от глыбы льда в 500 фунтов и нашли, что в фокусе зеркала термометр заметно понижается.

5. *Расширение тел от теплоты* доказывалось флорентийскими учеными при помощи различных приборов, идея которых заключалась большею частью в том, что тело, свободно проходившее в холодном состоянии через отверстие, не могло пройти в него после нагревания. Производя эти опыты, они наталкивались на многие явления, оставшиеся более или менее необъясненными. Так, например, стеклянный термометр, опущенный в кипяток, в первое мгновение снижался, вследствие того, что, по их правильному объяснению, стекло расширялось сильнее жидкости. *Когда же они в кипящую воду опускали небольшой сосуд с толченым льдом, термометр оставался неподвижным.* Флорентийцы открыли, таким образом, постоянство точки таяния льда, но не знали, как объяснить это явление. Они не обратили на него должного внимания, вероятно, потому, что не были в состоянии объяснить его и не догадывались об его общем значении. Также непонятым остался тот факт, что железный прут, уравновешенный другим таким же прутом на чашке весов, при нагревании поднимался, но, во всяком случае, они не вывели отсюда заключения, что нагретые тела становятся легче.

6. *Опыты над сжимаемостью воды* привели к отрицательному результату.

7. При исследовании *абсолютной легкости тел* оказалось, что даже более легкие тела не поднимаются в более тяжелой жидкости, если некоторое количество последней не проникает под тело.

8. 9 и 10. *Опыты с магнитом, с электричеством и с изменениями цветов некоторых жидкостей* не дали ничего нового.

11. Глава о *скорости распространения звука* содержит ряд опытов, произведенных по способу Гассенди и Мерсенна, но с большею точностью; оказалось, что скорость звука равна 1111 парижским футам в секунду.

12. *Опыты с движением брошенных тел* дали полное подтверждение законов Галилея.

13. Тринадцатая глава заключает в себе описание различных опытов, из которых особенно замечательны опыты по измерению скорости распространения света. Они были поставлены по методу опреде-

ХАРАКТЕР ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АКАДЕМИКОВ 173

ления скорости распространения звука и, разумеется, не дали никакого результата¹.

Флорентийской академии расточали много похвал, и мы не имеем ни малейшего намерения уменьшать ее заслуженной славы. *При правильной оценке флорентийцев не следует упускать из виду, что они были только экспериментальными физиками и не хотели быть ничем иным; при таком условии мы не станем удивляться, если находим следы их работ везде, где дело идет о надежном установлении фактов, и почти не видим какого-либо их участия там, где на сцену выступает развитие широких и плодотворных физических теорий.* Флорентийцы сами заявили, что они намерены изучать явления, а не истолковывать их. Для первой совместной работы многих ученых такая программа являлась наиболее разумной. Действительно, производить опыты соединенными силами и средствами удобнее, чем порознь: думать же сообща, а тем более изобретать совместно едва ли удобнее. Но, с другой стороны, необходимо, чтобы в дополнение к подобной совместной работе кто-нибудь один занялся объяснением фактов, разработкой теории, и затем, далее полезно, чтобы эта теория обсуждалась и проверялась общими силами. *Тот факт, что академия ограничилась одним опытным исследованием, был знаменем времени.* После того как для опыта удалось завоевать признание и почет, построение теорий и гипотез упало в общем мнении, и оба течения начали впадать в противоположную крайность. В то время как Галилей был далек от простого экспериментирования, ученики его в первом, втором и третьем поколении основали чисто экспериментальную академию.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что *члены флорентийской академии, за исключением Борелли, не оставили после себя никаких работ по теоретической физике и что Академия опытов в Италии ознаменовала собой не период нового расцвета физики, а напротив, конец одной из славнейших эпох итальянской науки.* Академии, ярко освещавшей небольшое пространство вокруг себя, недоставало тех лучей, которые способны бросать свет на пути, ведущие вдоль, и под ее сенью наука, по крайней мере, в Италии, не имела возможности завоевать себе новых областей.

¹ Имена членов Академии и содержание «Saggi» — преимущественно по Poggendorf, «Gesch. d. Physik», стр. 350—403.

174 БОРЕЛЛИ. ТЕОРИЯ ПЛАНЕТНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Но не на одной академии лежит, на наш взгляд, исключительная и даже главная ответственность за это. *Политические и религиозные влияния были здесь сильнее всех других; они, быть может, и были причиной, приведшей академию к такой односторонности.* Как враждебно ни вела себя церковь по отношению к новому направлению естествознания, она не могла преследовать простого открытия фактов. Напротив, выводы из добытых результатов представляли сравнительно опасную вещь, и тот, кто оказывался неудобным церкви с этой стороны, мог жестоко поплатиться. Флорентийская академия, покровители которой уже однажды обнаружили свое бессилие перед римским престолом, имела, следовательно, достаточные причины сосредоточиться на простом наблюдении. Впрочем, и это не могло вполне обезопасить ее, как это видно из ее безвременного конца после едва десятилетнего существования.

Из приборов флорентийской академии донныне сохранились спиртовые термометры, ареометры, гигрометры, плотно закрывающиеся металлические шары (для опытов над сжимаемостью воды) и естественный магнит в арматуре (Gerland, Leopoldina, Heft XVIII).

Между флорентийскими физиками наибольшим богатством идей отличался *ДЖИОВАННИ АЛЬФОНСО БОРЕЛЛИ*, бывший вместе с Вивиани движущей силой академии. Родившись в 1608 г. в Кастельнуово близ Неаполя, Борелли учился в Риме, сделался в 1649 г. профессором математики в Мессине, и в 1658 г. профессором в Пизе, а затем членом флорентийской академии. После упразднения последней он вернулся в Мессину, откуда должен был бежать в 1674 г., будучи замешан в неудачном восстании против испанцев. Он умер 31 декабря 1679 г. в Риме в крайней нужде.

Деятельность Борелли была весьма разносторонней. Он был не только выдающимся физиком, но также хорошим математиком и астрономом. В 1666 г. вышло его сочинение *«Theoria Mediceorum planetarum ex causis physic Is deducta»*, основанное на многолетнем наблюдении спутников Юпитера и очень интересное с точки зрения физики по изложенной в нем теории тяготения. *Борелли первый высказал мнение, что круговое движение небесных тел должно быть объяснено не только притягательной силой центрального светила, но также центробежной силой, происходящей от инерции тел.* «Предположим, что планета стремится к солнцу и в то же время своим круговым движением удаляется от этого центрального тела, лежащего в середине круга. Если обе противоположные силы равны между собой, то они должны уравновеситься; планета не будет в состоянии ни приблизиться к солнцу, ни отойти от него дальше известных пределов, и в таком равновесии будет продолжать свое обращение около солнца». Эта теория устраняла необходимость в особой вращательной силе, при помощи которой центральное светило увлекало за собой своих спутников и которую до тех пор искали в его вращении и магнитном притяжении, и вместе с тем открывала путь для теории всеобщего тяготения.

Главное собственно физическое сочинение Борелли было окончено одновременно с разработкой этой теории. Рассказывают, будто принц Леопольд желал поместить это сочинение в «Трудах» академии, но что

Борелли, вообще недоверчивый и неуживчивый, не дал отговорить себя от отдельного издания. Книга вышла только в 1670 г. под заглавием: «*De vi repercussionis et motionibus naturalibus a gravitate pendentibus*». Согласно заглавию, Борелли рассматривает здесь учение об ударе тел и приходит к лучшим результатам, чем его предшественники: Декарт, Оноре Фабри и др. К сожалению, его исследования относятся лишь к отдельным не связанным между собой случаям; по этой причине, а также вследствие неудобной формы изложения они не имеют большой ценности. С другой стороны, движение маятника выведено у Борелли вполне правильно из боковой начальной скорости, сообщенной толчком, тяжести и наперед заданного кругового пути. Он доказал, что движение ускоряется и замедляется только *одной тяжестью*, а так как действие ее в обоих случаях должно быть принято равным, то маятник должен настолько же подниматься на одной стороне, насколько он опускается на другой — закон, над которым Мерсенн, как нам известно, работал безуспешно. *Важнейшее значение книги Борелли заключается, впрочем, в тщательном исследовании явлений капиллярности и опытах для разъяснения ее сущности.* В первом томе нашей истории было отмечено, что открытие волосности некоторые неправильно приписывают арабу *Альгазени*¹; другие находят у *Леонардо да Винчи*² указание на это явление; некоторые, и также без достаточных оснований, приписывают знакомство с капиллярностью *Франциску Аджунти* (1600—1635). Член-корреспондент Флорентийской академии *Оноре Фабри* поместил в своей «*Physica in decem tractatus distributa*» (Лион, 1669) ряд верных положений; он нашел, что в *тонких трубках, погруженных в воду, последняя поднимается выше уровня воды, окружающей трубку с наружной стороны; что поднятие тем значительнее, чем уже просвет трубки, и что вода никогда не вытекает из верхнего конца трубки.* К этим правильным выводам Фабри прибавил неверное положение, что будто в *длинных трубках вода поднимается выше, чем в коротких.* Так как, однако, Борелли писал гораздо раньше Фабри, то первому следует отдать преимущество по времени открытия, не говоря уже о том, что его познания здесь гораздо шире и яснее. Фабри, например, считает еще воздушное давление причиной капиллярности, Борелли же доказывает, что *явление происходит и в пространстве с разреженным воздухом.* По его мнению, водяные частицы представляют тельца с расходящимися во все стороны гибкими ветвями. Ветви эти одним концом прилегают плотно к шероховатостям стеклянной стенки и действуют наподобие одноплечего рычага, имеющего точку опоры в стенке. Тяжесть водяных частиц внутри трубки таким образом частью уничтожается, и вода поднимается по ней кверху для восстановления равновесия с наружной массой воды. Объяснение было настолько хорошо, насколько могло быть в то время при отсутствии понятия о молекулярном притяжении; вскоре, однако, затруднения начали возрастать, и Борелли пришлось наблюдать больше, чем он был в состоянии объяснить. Он заметил, во-первых, что *жидкость остается*

¹ Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел первый.

² Ч. I, Ист. средневек. физики, отдел третий.

в трубке и после того, как ее вынимают из воды, и притом на прежнем уровне, и что высоты поднятия воды обратно пропорциональны диаметру трубок. До сих пор его теория рычагов могла еще держаться. Когда же он нашел, что две латунные пластинки, спущенные плашмя на воду, движутся друг к другу точно под влиянием притяжения и что то же самое повторяется с двумя деревянными тарелочками, между тем как деревянная тарелочка и латунная пластинка, опущенные вместе. Как будто отталкиваются¹, — ему пришлось убедиться в недостаточности прежнего объяснения. Подобно волосности, в то время и шаровую форму водяных капель объясняли воздушным давлением, на которое вообще возлагали много надежд; между тем флорентийские академики доказали, что капля в пустоте сохраняет ту же форму, а Борелли сверх того заметил слияние двух соприкасающихся капель. Последнее явление он тоже попытался отнести на счет принятой формы водяных частиц, но, разумеется, без действительного успеха.

Явления волосности занимали в ту пору многих физиков. *Монтанари* (1633—1687) опубликовал в своих «*Pensiere fisiche e matematiche*» (Болонья, 1667 г.) результаты сходные с бореллиевскими. *Исаак Фосс* (1618—1689) первый упоминает в своем сочинении «*De Nili et aliorum fluminum origine*» (Гаага, 1666) о понижении уровня ртути в тонких трубках и опровергает мнение, будто ключевая вода поднимается в силу волосности на вершины гор. *Бойль*, подобно флорентийцам, доказывал, что капиллярность наблюдается и в безвоздушном пространстве и потому не может зависеть от давления воздуха; дальнейших же исследовательских опытов он, по своему обыкновению, не делал. С большим успехом, чем в вопросе о капиллярности, применил Борелли теорию рычагов в своем знаменитом физиологическом сочинении «*De motu animalium*» (ч. 2, Рим, 1680 и Лейден, 1685). Он объясняет, что *руки и ноги человека и животных действуют, как одноплечие рычаги, у которых плечо сопротивления длиннее плеча силы*, и исчисляет силу, производимую мышцами руки при поднятии одним пальцем 9,5 фунта, в 1900 фунтов. Он *определяет устойчивость стояния по величине поверхности, служащей опорой; объясняет процесс бега как непрерывное падение; а отодвигание ног или наклонение туловища при вставании объясняет необходимостью перемещения центра тяжести над площадью опоры* и т. д. Сочинение Борелли имело классическое значение для теории движения животных и человека и долгое время ожидало достойного преемника.

По некоторым вопросам с Борелли соприкасается *РОБЕРТ ГУК*, который, подобно своему соотечественнику Бойлю, оказал влияние почти на все вопросы, занимавшие тогдашний мир физиков. *Гук* родился в 1635 г. на острове Уайте, где отец его был пастором; в 1658 г. он поступил в Оксфордский университет; затем сделался ассистентом Бойля, которому главным образом помог при устройстве воздушного насоса, и в 1662 г. он получил место экспериментатора при вновь учрежденном Королевском обществе. Вскоре он стал членом, а в 1678 г.

¹ Фишер («*Gesch. d. Phys.*» I, 317) сообщает, что Борелли показывал эти опыты великому герцогу Тосканскому и принцу Леопольду уже в 1655 г.

ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА. ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК 177

секретарем общества. Вместе с тем он читал лекции по механике, организованные по инициативе и за счет сэра Кетлера, и был профессором геометрии в Грешемской коллегии в Лондоне. Изнуренный работой и ночными бдениями, он умер в Лондоне в 1703 г.

Положение Гука при Королевском обществе привело его в соприкосновение со всеми новыми явлениями в науке, а экспериментальные способности позволяли не только повторять чужие исследования, но и вносить в них много нового и самостоятельного. С другой стороны, разбросанность занятий служила в большинстве случаев препятствием к дальнейшей разработке вопросов и всестороннему изложению своих мыслей. *Отсюда — бесконечные притязания Гука на то, что он первый все знал, первый собирался все сделать; он заводил постоянные ссоры и пререкания с другими учеными и изобретателями насчет прав первенства в открытиях и работах, и во многих случаях не мог убедить мир в своей правоте.* Мало того, его прямо обвиняли в нечестности. Вольф («Gesch. der Astr.», стр. 461) называет его научным разбойником и считает себя вправе «по меньшей мере подозревать его в утайке в свою пользу многих научных сообщений, которые должны были пройти через его руки, как секретаря Королевского общества». *С другой стороны, следует отдать должное смелости его мысли в некоторых случаях, а во всех без исключения — точности его наблюдений.*

Гук разошелся с Ньютоном в двух вопросах, имевших особенно важное значение для физики, именно *в учении о всеобщем тяготении и в учении о свете.* Первые *оптические исследования* Гука были помещены в его знаменитом сочинении «*Micrographia or philosophical description of minute bodies*» (Лондон, 1665); позднейшие напечатаны в Мемуарах Королевского общества и в посмертном собрании его сочинений «*Posthumous works*» (Лондон, 1705). Уже в своей микрографии Гук принял для света *волновую теорию*, высказав предположение, что свет состоит из быстрого и короткого колебательного движения и распространяется в однородной среде таким образом, что каждое колебание светящегося тела производит в этой среде сферическую поверхность, которая постоянно нарастает и увеличивается совершенно таким же образом (хотя и несравнимо быстрее), как кольцеобразные волны на поверхности воды, описывающие все большие и большие круги около центральной точки. В монографии, представленной Королевскому обществу в 1672 г., Гук высказал даже мысль, что *направление колебаний должно быть перпендикулярно к линии распространения волн* — мысль, к сожалению, совершенно забытую впоследствии. Он занимался далее (подобно Бойлю) *исследованием цветов мыльных пузырей* и заметил, что они *изменяются по мере утончения перепонки*; он наблюдал также *цвета тонких слюдяных пластинок* и при рассматривании их в микроскоп установил зависимость появления цветов от толщины пластинок. На основании своей теории света он объяснял игру цветов тем, что *как от передней, так и от задней поверхности водяных пластинок отражаются два следующих друг за другом луча, которые при встрече на сетчатке оболочки глаза производят ощущение различных цветов.* К сожалению, его представления об этом явлении не были достаточно ясны, чтобы привести

178 ТЯГОТЕНИЕ. СТЕКЛЯННЫЕ СЛЕЗЫ

к правильной теории интерференции. Именно, он утверждал, что различие цветов обуславливается различным способом столкновения отдельных колебаний на сетчатке; а так как он допускает только два способа такого столкновения, то и принял два основных цвета, красный и голубой, из смешения которых, по его мнению, и происходят все прочие цвета. При красном цвете сильное сотрясение следует за слабым; при голубом, — наоборот. Вскоре, однако, *теория двух основных цветов* оказалась недостаточной: наполнив два призматических стеклянных сосуда, один голубым медным раствором, а другой красной алойной настойкой, Гук убедился, что при рассмотрении через оба сосуда растворы вовсе не пропускают света. Гук наблюдал также *дифракцию света*¹ и (не упоминая имени Гримальди) пробовал объяснить ее, но тоже без успеха. Он не был в состоянии дальше развить и свою гипотезу световых колебаний, имевшую совершенно правильное основание, вследствие чего она не могла устоять против вполне законченной теории Ньютона, опубликованной впервые в 1672 г.; она лишь вовлекла его в пререкания весьма ожесточенного свойства (как и следовало ожидать при характере Гука), принесшие мало пользы науке.

Озлобление в данном споре не дошло, однако, до той степени, какую оно приобрело при открытии *закона всеобщего тяготения*, когда Гук стал открыто обвинять Ньютона в присвоении принадлежавшей ему (т. е. Гуку) мысли. Гук изложил свои идеи о планетных движениях в трактате *«An attempt to prove the motion of the Earth»* (Лондон, 1674). Здесь он обещал дать объяснение системы вселенной, какого еще не давал никто, хотя оно вполне согласно с законами механики. Объяснение основывается на трех законах: 1) Все тела обладают тяжестью не только по отношению к собственному центру, но и относительно друг друга в пределах круга их действия. 2) Все тела, имеющие простое прямолинейное движение, продолжают двигаться по прямой линии, если только какая-нибудь сила их постоянно не отклоняет от этого направления, заставляя описывать круг, эллипс или другую сложную кривую. 3) Притяжение тем сильнее, чем ближе находится притягиваемое тело. Гук прибавляет, что не *успел еще исследовать подробнее закона, по которому это притяжение возрастает*; позднее же он утверждал, что нашел этот закон раньше Ньютона. Мы вернемся к спору обоих ученых, когда будем говорить о Ньюtone.

Разбирать подробно все отдельные работы Гука значило бы коснуться почти всех отделов физики и астрономии. Остановимся только на наиболее выдающихся. В «Микрографии» он, между прочим, занимается *стеклянными слезами*, обратившими на себя в то время внимание ученых. По мнению Шуленбурга из Бремена, их наблюдали еще в 1625 г. на мекленбургских стеклянных заводах. *Гук, подобно И. Фоссу, объяснял их разрыв давлением заключенного в них воздуха*, — в то время воздушное давление должно было участвовать во всех явлениях. *Действительная причина — неравенство напряжения в самих стеклянных слезах вследствие внезапного охлаждения расплавленного стекла* — была открыта Гоббсом и Монтанари (1670). Гук описывает, далее,

¹ Он называет это явление уклонением света.

БАРОМЕТР. ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА, КАК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР 179

в «Микрографии» особый вид барометра, *колесный барометр*; последний не имеет, впрочем, другого значения, кроме косвенного свидетельства, что в то время был уже известен *сифонный барометр*. Имя изобретателя последнего не дошло до нас. В то время вообще много занимались устройством разных видов барометров, казавшихся пригодными для той или другой цели. В числе изобретателей этих приборов можно назвать Декарта, Гюйгенса, Морленда, Амонтона и других известных физиков. Большинство старалось приспособить прибор для более удобного отсчета, большею частью достигая этого в ущерб точности. Об удобствах переноски тогда еще не думали, так как барометр почти не употреблялся для определения высот. Вскоре, однако, Мариотт начал искать удовлетворительной *формулы для вычисления высот по различиям барометрического уровня*, и Гук указал здесь верный путь (правда, не имея в виду данной конкретно задачи), разделив атмосферу для удобства вычисления ее высоты на слои и пытаясь найти закон разрежения воздуха по мере удаления от земли. Интересно, что на основании своих опытов он уже в то время оспаривал полную точность бойлевского закона обратной пропорциональности давления и объема газов.

Много труда употребил, далее, Гук на *усовершенствование зрительных труб* и на *их применение для измерения углов*. При открытии зрительной трубы не имели понятия о ее значении в качестве измерительного прибора, и долгое время употребляли ее только для увеличения отдаленных предметов. Только В. Гасконь (1621—1644), как положительно известно, измерял в 1640 г. поперечник Юпитера при помощи двух приделанных к зрительной трубе параллельных пластинок, которые можно было сближать и раздвигать посредством винта. Окончательно применение зрительной трубы для измерительных целей было введено Озу (Auzout «*Traite du micrometre*», Париж, 1667) и Пикаром, которые применяли нитяные кресты из металлической нити. Гук тоже рекомендовал употреблять зрительную трубу в качестве зрительного прибора, советуя брать для *микрометра* волосы вместо шелковых и металлических нитей ¹. А так как знаменитый данцигский астроном Гевель продолжал довольствоваться при своих наблюдениях диоптрическими линейками, то Гук в не совсем вежливых выражениях выразил в одной из своих статей сомнение в точности его наблюдений, но совершенно неосновательно, как это было ему вскоре доказано.

В этой работе («*Animadversions to the first part of the Machina coelestis of. Jon. Hevelius*», Лондон, 1674) Гук в первый раз описал *прибор для кругового деления*. По его мнению, достаточно нарезать на краях квадранта зубцы посредством бесконечного винта и определить их расстояния; однако этот способ вскоре оказался непрактичным. Поггендорф ² приписывает, далее, Гуку открытие ватерпаса в 1666 г.; Вольф ³, однако, доказывает, что это открытие принадлежит Мельхиседеку Тевно, который в 1661 г. сообщил о нем в письме к Вивиани и, по-

¹ Кресты из паутинных нитей получили общее распространение только в начале XIX столетия. В 1755 г. их рекомендовал Ф. Фонтана из Флоренции.

² «Gesch., d. Physik», стр. 565.

³ «Gesch. d. Astronomie», стр. 572.

180 ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП. ЧАСОВАЯ ПРУЖИНА

добно Гуку, считал спирт наиболее подходящею жидкостью для наполнения прибора. Наконец, Гук принимал участие в первом устройстве *зеркальных телескопов*, если не в изобретении их. *Джемсу Грегори*, действительному изобретателю зеркального телескопа, пришлось разделить судьбу Цукки и Мерсенна, у которых тоже была идея подобного инструмента, но которые не могли ее осуществить. Именно Грегори в своей «*Optica promota*» (Лондон, 1603) предложил устройство зеркального телескопа (в том виде, как прибор этот изображается и описывается в учебниках физики под его именем) ввиду того, что обыкновенные трубы с чечевицами слишком длинны и вследствие обилия линз, пропускают мало света. Так как, однако, он сам не мог устроить подобного инструмента, а другие тоже не справились с задачей, то Грегори и отказался от осуществления своего плана. Только спустя 11 лет Гук устроил зеркальный телескоп в точности по плану Грегори, при этом, однако, оказалось, что Ньютон опередил его, построив еще в 1668 г. зеркальный телескоп, носящий его имя¹.

Гука, если верить его словам, упорно преследовал рок: другие постоянно успевали воспользоваться его мыслями и публиковали их раньше его самого. Так, он разошелся с Озу по поводу устройства зрительных труб и обвинил Гюйгенса в похищении у него плана воздушной зрительной трубы, т. е. комбинации чечевиц, укрепленных на длинном шесте без трубки. Гюйгенс, впрочем, провинился перед ним еще больше в связи с *изобретением часовой пружины*. Гук прямо обвинил его в плагиате, а секретаря Королевского общества Ольденбурга — в пособничестве. По уверению Гука, он уже с 1658 г. возмел мысль применить стальную пружину в виде регулятора для карманных часов и позднее вел переговоры с Бойлем, Р. Мореем и лордом Броункером о получении общего патента. Тем не менее, карманные часы со спиральной пружиной по мысли Гука успели не раньше 1675 г., после того, как Гюйгенс, надо полагать, без присвоения чужих идей, получил в 1674 г. свои пружинные часы, заказанные им парижскому часовому мастеру Тюре.

В 1668 г. Королевское общество предложило своим членам заняться разработкой *УЧЕНИЯ ОБ УДАРЕ ТЕЛ* и сообщить полученные ими результаты. В ответ на это предложение были представлены три работы, а именно: 26 ноября 1668 г. поступил трактат *Джона Валлиса* (1616—1703 гг., профессор математики при Оксфордском университете); 17 декабря монография *Христофора Врена* (1632—1723, профессор математики, директор королевских сооружений в Англии) и, наконец, 4 января 1669 г. исследование *Христиана Гюйгенса*, приславшего дополнение к своему мемуару в феврале того же года. Все три работы были напечатаны в «*Philosophical Transactions*».

Валлис разбирает здесь только *удар неупругих тел*, но в другом сочинении «*Mechanics sive de motu*» (Лондон, 1670—1671) переносит исследование и на *удар упругих тел*. К выводу законов удара он при-

¹ Небольшой рефлектор Ньютона хранится до сих пор в Королевском обществе. (Gerland, Leopoldina, Hetf XVIII).

УДАР. РАБОТЫ ВАЛЛИССА, ВРЕНА И ГЮЙГЕНСА 181

ходит кратчайшим путем, принимая, что *данное общее количество движения (произведение из массы на скорость) распределяется при ударе равномерно на массы обоих тел*, причем, однако, количества движения должны носить знаки своих скоростей, так что одинаковые количества движения с противоположным направлением скоростей взаимно уничтожаются. Таким образом Валлис исправил результаты Декарта. Последний не сумел учесть, что количества движения способны при ударе уничтожаться, вследствие чего он стоял на точке зрения постоянства количеств движения в абсолютном смысле и пришел к совершенно ошибочным законам. Валлис тоже не в состоянии объяснить уничтожения противоположных количеств движения; о (превращении движений масс при ударе в молекулярные движения он тоже не имеет еще понятия; но, с другой стороны, он считает фактически достоверным, что равные неупругие тела при равных, но противоположных скоростях приходят при ударе в состояние покоя, и таким образом дает верный закон для удара неупругих тел. *Картезианский закон постоянства количеств движения сохраняет свою силу и у Валлиса, но только этим количествам должны быть приписаны знаки направления.* Из законов удара неупругих тел Валлис впоследствии легко выводит законы удара для упругих тел. При столкновении двух упругих тел они сжимаются наподобие тел неупругих и, как последние, прежде всего уравнивают свои количества движения. Этим, однако, процесс для упругих тел не заканчивается; напротив, возвращаясь к первоначальной своей форме, они вновь действуют друг на друга; а так как действие равно противодействию, то в конечном счете первое действие удваивается. Другими словами, *у упругих тел выигрыш и проигрыш скорости вдвое больше, чем у неупругих.* Врен только формулировал законы удара упругих тел в одном кратком положении. Гюйгенс первоначально тоже представил в Королевское общество только законы удара упругих тел без доказательств, позднее же прислал и последние в мемуаре «*De motu corporum ex percussione*», напечатанном в 1703 г. в «*Opuscula posthuma*». Здесь он предложил замечательно остроумный метод выведения законов удара из одного основного положения, без принятия в расчет молекулярных процессов. Это основное положение гласит: *два равных упругих тела, ударяющихся друг о друга с противоположными и равными скоростями, отскакивают одно от другого с теми же скоростями.* Чтобы вывести отсюда, например, тот закон, что при ударе упругого тела о другое такое же, покоящееся, первое остановится, а второе начнет двигаться со скоростью первого, Гюйгенс представляет явление в таком виде. Пусть на корабле столкнутся два равных тела *A* и *B* с одинаковыми скоростями, и пусть корабль имеет скорость, равную по величине и направлению с *A*. Пусть при этих условиях человек, стоящий на берегу озера или реки, по которым плывет корабль, наблюдает абсолютные движения тел *A* и *B*. На корабле *A* и *B* сталкиваются между собой с одинаковыми скоростями; наблюдатель же с берега видит тело *B* неподвижным, тело же *A* — движущимся с удвоенной скоростью. После удара оба тела на корабле, согласно нашему основному положению обмениваются скоростями: наблюдатель поэтому видит теперь тело *A*

182 УДАРНАЯ МАШИНА. ЖИЗНЬ ГЮЙГЕНСА

находящимся в покое, тело же B движущимся с удвоенной скоростью, что и требовалось доказать. В дополнительном мемуаре, присланном в Королевское общество, Гюйгенс прибавил к частным законам удара два общих положения: 1) *количество движения постоянно только в том случае, когда в расчет принимается алгебраическая сумма количеств движения и 2) при ударе упругих тел сумма произведений масс на квадраты соответствующих скоростей остается равной до удара и после него.* Законы эти сыграли в то время большую роль при многолетнем споре о живых и мёртвых силах.

Законы удара, вопреки преобладавшему в то время увлечению чисто экспериментальным методом, были найдены или по крайней мере изложены *почти исключительно дедуктивным способом.* Валлис и Гюйгенс вывели из нескольких опытных положений все прочие без дальнейшего обращения к наблюдению, и один только Врен привел опытные доказательства своих законов ¹, Более обширные опыты для наглядного доказательства законов удара были предприняты при помощи ударной машины *Мариоттом*; они описаны в его «*Traite de la percussion*» (Париж, 1677). Ударная машина состояла в основных чертах из двух шаров, подвешенных на нитях таким образом, что они едва соприкасались; высота, с которой заставляли падать шары, отсчитывалась по масштабу, и отсюда вычислялась скорость при ударе.

ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС родился 14 апреля 1629 г. в Гааге и был вторым сыном Константина Гюйгенса, богатого землевладельца и секретаря принца Оранского. Отец его, весьма образованный человек, сам преподавал сыну первые основания математики и механики. Шестнадцати лет Христиан Гюйгенс поступил в Лейденский университет и здесь, как и в Бреде, изучал право. Впрочем, математика не осталась у него в пренебрежении, потому что уже в 1651 г. появилось первое его произведение «*Theoremata de quadratura hyperboles, ellipsis et circuli ets.*». За этим первым сочинением последовало в 1654 г. второе, «*De circuli magnitudine inventa nova*», а вслед за ним ряд других значительных математических трактатов, в том числе в первую очередь изложение *теории вероятности* (1657). Наряду со столь плодотворными математическими занятиями, Гюйгенс работал и над усовершенствованием *зрительных труб*. Ему вскоре удалось устроить столь хороший прибор, что при его помощи он открыл *спутника у Сатурна*, а в скором времени он сконструировал еще большую зрительную трубу, с помощью которой он мог убедиться, что замечательные явления, которые наблюдали на Сатурне Галилей и другие, происходят от *кольца, свободно вращающегося вокруг этой планеты.* В то же время Гюйгенс начал свои опыты по устройству часов с *маятником* и уже в 1657 г., как мы увидим впоследствии, достиг своей цели. В начале шестидесятих го-

¹ Врен принимал близкое участие во многих физических исследованиях; к сожалению, должностные занятия служили препятствием для систематического развития его научных работ. К числу последних относятся: исследование сопротивления, встречаемого движущимся телом в жидкостях, исследования о наилучшей конструкции кораблей; о действии весел и парусов; о движении маятника; о причинах движения небесных тел; о шлифовке гиперболических стекол и т. д.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЮЙГЕНСА (1657 — 1673) 183

дов он предпринял путешествие в Париж и в Лондон. В 1603 г. он был избран членом Королевского общества, а в 1666 г. — членом вновь основанной парижской Академии наук. Вместе с последним званием он получил значительное ежегодное содержание и квартиру в здании Королевской библиотеки в Париже. В 1681 г. он, однако, отказался от этого места и вернулся в свой родной город Гаагу, как одни полагают, по причине расстроенного здоровья, а как утверждают другие (и пожалуй с большим основанием), вследствие отмены Нантского эдикта ¹. В Гааге Гюйгенс снова занялся изготовлением сильно увеличивающих зрительных труб, а также устройством *планетария*, сочинением о *строении вселенной*, но главным образом *теорией света* и оптическими исследованиями. Он умер в Гааге 8 июня 1695 г. Сочинения его были собраны и изданы с'Гравезандом в 4 частях: первые две под заглавием «*Opera varia*», 1724 г., и остальные две — «*Opera posthuma*», 1728 г. ². Подобно многим великим физикам того времени, Гюйгенс не был женат, посвятив свой гений, труд и состояние исключительно науке.

В настоящем отделе мы разберем лишь чисто механические открытия Гюйгенса, падающие преимущественно на промежуток времени с 1657 по 1673 г. и находящиеся в более или менее тесной связи с его открытиями относительно новой конструкции часов. Нам известно (см. ч. 1) что уже в XVI столетии изготовляли часы с *гирями* и вскоре затем стали употреблять *задержки* против ускоренного падения груза. Однако эти задержки не обеспечивали равномерного хода часов; поэтому для более точных, например, астрономических, определений времени долго еще употребляли водяные или ртутные часы, а колесные считали пригодными лишь для башен. Правда, в 1484 г. *Вальтер* уже имел на своей обсерватории колесные часы, допускавшие отсчитывание четвертей секунды; для Кассельской обсерватории *Иост Бюрги* тоже изготовил знаменитые колесные часы; наконец, *Тихо де-Браге* пользовался колоссальным инструментом того же типа; *но все эти измерители времени требовали ежедневной проверочной установки и часто расстраивались.* Поэтому открытие Галилеем маятника было встречено всеобщей радостью, и новым измерителем времени стали пользоваться как при физических, так и при астрономических работах; его употребляли сам Галилей, Риччиоли, Гримальди, Мерсенн, Кирхер, Гевель и др. Однако в маятнике было то неудобство, что он не отмечал самостоятельно истекшего времени и сверх того требовал повторных толчков, чтобы не остановиться. *Это обстоятельство навело уже Галилея на мысль соединить маятник со счетчиком, который показывал бы число совершившихся качаний, и эту мысль он подробно развил в письме от 5 июня 1636 г. к Лаврентию Реалию (Reaal), бывшему губернатору Голландской Индии.* Галилей вел тогда переговоры с Голландскими

¹ Нантский эдикт был, правда, формально отменен только в 1685 г., уже за несколько лет до этого религиозные преследования начали заметно усиливаться. Ремер и Папен покинули Париж одновременно с Гюйгенсом.

² В настоящее время имеется прекрасное полное собрание сочинений Гюйгенса, изданное Голландским научным обществом. (*Прим. ред.*).

184 ЧАСЫ С МАЯТНИКОМ ГАЛИЛЕЯ И ГЮЙГЕНСА

генеральными штатами о *точном способе определения долготы места по наблюдениям спутников Юпитера*, а Реаль был членом комиссии, которой правительство поручило рассмотрение проектов Галилея. Однако по различным причинам переговоры эти были прерваны и с тех пор о времяизмерителях Галилея ничего не было слышно.

Лишь двадцать лет спустя после упомянутого письма, тем же вопросом занялся Гюйгенс, но он подошел к проблеме уже с другой стороны. *Вместо того, чтобы придумывать для маятника новый счетчик, он принял старую конструкцию часов и связал ее с маятником*. Именно, Гюйгенс изменил форму задержки, связав это приспособление с маятником, чем обеспечил равномерный ход часов. На эти часы с маятником он получил от Генеральных штатов *патент* 16 июня 1657 г. и описал этот инструмент в маленькой брошюре «*Horologium*», 1658 г.

О его часах узнал в октябре 1658 г. принц Леопольд Тосканский и, вероятно, побудил Вивиани подать себе 20 августа 1659 г. письменный доклад о правах Галилея на изобретение. В докладе говорится, что *Галилей уже в 1641 г. собирался усовершенствовать свой счетчик, имея в виду приводить его в движение не маятником, а тяжестью, и затем соединить маятник со счетчиком таким образом, чтобы движение маятника постоянно поддерживалось счетчиком*. Далее указывается, что слепота помешала Галилею самому выполнить план, и он поручил это дело своему сыну Винченцо, который, однако, не мог приняться за работу ранее апреля 1649 г. Инструмент, по словам доклада, был бы, конечно, готов хоть настолько, чтобы судить об его действии, но внезапная болезнь и смерть Винченцо в том же 1649 г. не позволили закончить дело. Вивиани приводит рисунок часов, помещенный Альбери в прибавлении к новому флорентийскому изданию сочинений Галилея. С другой стороны, Нелли утверждает в биографии Галилея, что из оставшегося после смерти Винченцо имущества в 1668 г. были проданы «*un oriuolo non finito di ferro col pendulo, prima invenzione del Galileo*». Если, следовательно, не считать Вивиани прямо обманщиком, к чему нет никаких оснований, то нужно признать, что *первоначальный план устройства часов с маятником принадлежит Галилею*. Но, с другой стороны, ясно, что окружавшие Галилея не поняли важности этой мысли, иначе, конечно, Вивиани не дождался бы обнародования изобретений Гюйгенса, чтобы выступить со своим заявлением. *За Гюйгенсом во всяком случае остается слава независимого вторичного изобретения* (достоверно известно, что он не знал о последнем плане Галилея, не знал, вероятно, даже и об его счетчике) *и заслуга первого целесообразного и легко выполнимого устройства часов с маятником*, дававшего возможность легко переделывать всякие старые часы на новые.

Однако кроме Галилея у Гюйгенса был еще другой опасный конкурент, именно *Иост Бюрги*, которого Вольф считал в своей «Истории астрономии» вероятным изобретателем часов с маятником. По Вольфу *Бюрги изобрел такие часы еще в 80-х годах XVI столетия, следовательно, он должен был быть знаком с изохронностью колебаний маятника ранее Галилея*. Такое утверждение Вольф основывает на одном очень неопределенном заявлении Ротманна, на прямом свидетельстве фламандского математика Домса и на факте существования в Венском

ЧАСЫ БЮРГИ 185

музее часов с маятником, относимых ко времени Бюрги. По словам самого Вольфа эти свидетельства, взятые каждое в отдельности, маловажны, но в совокупности имеют большую доказательную силу. Герланд¹ утверждает, однако, что последнего допустить нельзя. Иост Бюрги (1552—1632) был сначала часовщиком ландграфа Вильгельма IV Гессен-Кассельского (ум. 1592 г.); потом с 1603 до 1622 г.— часовщиком императора Рудольфа II, а затем вплоть до смерти жил опять в Касселе. Значит, его часы с маятником должны были бы находиться на обсерватории в Касселе; там действительно находятся трое часов его работы, в одних из них действительно есть маятник с передвижным грузом и отскакивающей якорной задержкой; но последнюю обыкновенно приписывают часовщику Клементу в 1680 г. Часы эти около 1676 г. были в переделке, и вероятно, в то время к ним был придан маятник. Вообще Герланд приходит к очень правдоподобному выводу, *что ни одни из известных часов Бюрги не имели вначале маятника, не исключая его больших планетных часов Кассельского музея, хотя последние и были выполнены для того времени с величайшим совершенством. Приписывать Бюрги этого изобретения нельзя, потому что иначе ему пришлось бы приписать открытие изохронности качаний маятника и изобретение отскакивающей якорной задержки*².

Гюйгенс не переставал работать над усовершенствованием своих часов и по получении им патента. Говоря о Гуке, мы уже упомянули, что в 1674 г. по указанию Гюйгенса были устроены *первые карманные часы со спиральной пружиной*. Здесь же мы прибавим, что он *тотчас же стал рекомендовать употребление их на море для определения географической долготы*³. В наших глазах все эти заслуги, однако, ничто в сравнении с блестящими теоретическими исследованиями Гюйгенса, изложенными в его большом сочинении *«Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae»* (Париж, 1673). Галилеевский закон маятника вполне точен лишь для случая тяжелой точки, подвешенной на невесомой линии и совершающей бесконечно малые колебания, другими словами, закон верен лишь для бесконечно малых качаний простого маятника. Вскоре, однако, обратили внимание, что при качании тела точки его, в силу различного расстояния от точки привеса, должны иметь различные периоды колебаний; отсюда возникал вопрос, *каким образом общая скорость целого тела слагается из этих различных скоростей отдельных точек*. В 1646 г. Мерсенн предложил на разрешение математикам вопрос о продолжительности колебания плоской фигуры и обратился за решением специально к Декарту, Робервалю и Гюйгенсу⁴. Декарт в том же году изложил в письме к Мерсенну травильный ход решения задачи,

¹ Wiedemann, «Ann. d. Ph. u. Ch.» Bd. IV, стр. 585-613.

² Первые часы Гюйгенса с маятником, изготовленные в Париже Тюре, сохраняются до сих пор в лейденском физическом кабинете; там же находится его зрительная труба. Чечевица, с помощью которой он открыл спутников Сатурна, сохраняется в Утрехте.

³ Extrait d'une lettre de M. Huygens a l'auteur du journal des savans touchant une nouvelle invention d'horloges tres justes et portatives («Journ. des savans», Fevr. 1675).

⁴ Montucla, II. стр. 423.

186 ЦЕНТР КАЧАНИЯ

сведя вопрос на *определение в качающемся теле точки, которая сама по себе качалась бы с той же скоростью, с какой качается фактически все тело*. Эту точку, называемую нами теперь *центром качания*, Декарт нашел лишь для таких случаев колебаний, когда ось вращения совпадает с плоскостью фигуры. Роберваль (1602—1675) оказался счастливее: помимо декартовского случая, решенного им для всяких плоских фигур вообще, он верно решил задачу для отдельных фигур в том случае качания, когда ось вращения перпендикулярна к плоскости фигуры. Для других же плоских фигур и в особенности для тел решение Роберваля оказалось неверным. По этому поводу между обоими учеными Декартом и Робервалем, вообще недолголюбивавшими друг друга, завязался длинный спор, в котором в сущности оба были неправы, так как оба смешивали *центр качания с центром удара*.

Молодому Гюйгенсу решить задачу в то время совершенно не удалось, но зато он разрешил ее позднее в полном объеме в своем классическом сочинении. Исходя из основного положения, что *во всяком качающемся теле центр его тяжести никогда не может подняться на высоту большую той, с которой он начал падать*, Гюйгенс отсюда выводит, что при качании тела центр его тяжести постоянно будет подниматься на одну и ту же высоту. Из последнего же положения выводится следующее правило: *для определения расстояния центра качания от оси вращения следует взять сумму произведений масс малейших частиц тела на квадраты их расстояний от оси вращения; затем образовать сумму произведений масс тех же частиц на их расстояния от оси вращения и первую сумму разделить на вторую; или, выражаясь теперешним языком: длина простого маятника, имеющего равный период качания со сложным маятником, равна частному от деления момента инерции на статический момент качающегося тела*¹. Этим колебания любых тел были сведены к колебаниям простого маятника, потому что благодаря данному правилу отыскание центра качания всякого тела превращалось в чисто математическую задачу, притом же Гюйгенс уже тогда открыл, что продолжительность качаний остается неизменной, если точка подвеса и центр качания обменяются местами, благодаря чему центр качания можно определить и чисто экспериментальным путем.

Тем не менее даже простой маятник представлял еще много трудностей. Что качания его изохронны лишь для бесконечно малых размахов, знал, вероятно, уже Галилей; во всяком случае это было определено известно до Гюйгенса. Гюйгенс же впервые определил зависимость продолжительности качания от угла размаха и дал *формулу для вычисления абсолютного числа колебаний простого маятника по его длине*. С целью упрощения исследования он поставил вопрос в несколько иной форме. Приняв во внимание, что колебание маятника тожде-

¹ Гюйгенсовский принцип поднятия центра тяжести не остался без возражений: аббат Кателан объявил его совершенно неправильным и пришел при помощи других принципов к иным результатам. Впрочем, этот противник был легко устранен; но зато последующие математики положили много труда на то, чтобы доказать этот принцип и свести его к более простым механическим положениям. К этому вопросу мы еще вернемся впоследствии.

ТАУТОХРОНА. ЧИСЛО КОЛЕБАНИЙ ПРОСТОГО МАЯТНИКА 187

ственно с движением тяжелого тела, скатывающегося по круговому пути под влиянием тяжести, он поставил вопрос: *по какому пути должна падать тяжелая материальная точка, чтобы время ее падения от какой-либо точки пути до самой низкой точки последнего было независимо от высоты падения и, следовательно, всегда было одно и то же.* Единственной кривой линией, удовлетворяющей этому условию, оказалась *циклоида*, обращенная вершиной вниз. Далее, Гюйгенс доказал; что для одного спуска и одного подъема (т. е. для одного качания) по такому пути требуется такая продолжительность времени, которая относится ко времени свободного падения по длине оси циклоиды, как окружность круга к своему диаметру. Таким путем была не только просто определена *таутохрона*, т. е. линия равной продолжительности падения, но также был найден способ определения абсолютного числа колебаний циклоидального, а равно и кругового маятника по его длине. Если через T обозначить продолжительность одного размаха циклоидального маятника и через h высоту циклоиды, то по правилу Гюйгенса выходит:

$$T : \sqrt{\frac{2h}{g}} = \pi : 1,$$

откуда

$$T = \pi \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Если, далее, построить круг, который соприкасался бы с циклоидой в самой низкой ее точке, то круг и циклоида совпали бы здесь на бесконечно малом протяжении и, следовательно, если бы в центре круга был подвешен маятник длиной в радиус круга, то бесконечно малые качания маятника были бы *изохронны* с качанием тела по циклоиде. Но радиус соприкасающегося круга, а также l , длина маятника, равны $2h$; следовательно, для бесконечно малых качаний, а приблизительно и для очень малых конечных качаний кругового маятника продолжительность одного качания выражается общеизвестной формулой:

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Достигнув таких результатов, Гюйгенс постарался сделать маятник своих часов не только приблизительно, но и *вполне изохронным*; для этой цели он *заменял круговой маятник циклоидальным*. Открыв, что развертка циклоиды есть также циклоида, он подвесил свой маятник на нитке и поместил по обеим сторонам ее циклоидально изогнутые металлические полосы таким образом, чтобы при качании нить с обеих сторон прилегала к кривым поверхностям. Тогда маятник действительно описывал циклоиду; но это приспособление оказалось на практике неудобным из-за трудности придавать полосам точную циклоидальную кривизну, из-за негибкости нити, пыли, влажности и наконец вследствие сопротивления воздуха. *Поэтому мысль Гюйгенса вскоре была оставлена, и уже Гук и Держэм стали употреблять маятники с тяжелыми чечевицами, делавшие очень маленькие круговые размахи.*

188 УСКОРЕНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ. ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА

В своем «Horologium» Гюйгенс не ограничился разработкой вопроса в тесных рамках приложения его к часам — он исследовал вопрос о движении маятника всесторонне, и в выяснении дальнейших выводов из своих новых открытий гений Гюйгенса выступает в самом ярком свете. Мы видели, как Галилей при измерении путей, пробегаемых падающим телом, пользовался в значительной мере теорией маятника. Мерсенн и другие пробовали сравнить на опыте колебания маятника со скоростями падения, но получили несовпадающие числа. *Пользуясь своей формулой, Гюйгенс получил возможность определить, исходя из фактической продолжительности одного качания и по данной длине*

маятники, ускорение, производимое тяжестью ($g = \pi^2 l / T^2$), и нашел $g = 31$ футу, величина, которая вполне согласовалась с результатами, выведенными из опытов над падением тел. Для этих опытов он устроил *секундный маятник* и нашел его длину в $440\frac{1}{2}$ париж. линий. Полагая, что секундный маятник на всей земной поверхности должен иметь одну и ту же длину, он предложил *принять длину секундного маятника за неизменную норму линейных мер и третью часть этой длины считать нормальным футом* (также *pes horarius*, или часовой фут). Гюйгенс, впрочем, не первый выступил с предложением неизменного масштаба; *Габриэль Мутон* из Лиона предлагал *принять за нормальную линейную меру длину минуты градуса меридиана уже в 1670 г.* Но легко видеть, что идея Гюйгенса легче и лучше выполнима, чем мутоновская; можно лишь сожалеть, что новейшее время отдало предпочтение последней.

Наконец, Гюйгенс исследовал также *напряжение нити маятника под действием центробежной силы* и резюмировал свои результаты в «Horologium oscillatorium» в виде кратких положений. Доказательства последних помещены в подробном трактате «*De motu et vi centrifuga*», появившемся же после его смерти в «Opuscula posthuma» (1703). Центробежную силу он измеряет прежде всего для кругового движения расстояниями, на которое тело удалилось бы от центра, если бы оно стало свободно двигаться по касательной, а не по кругу. Показав, что *для круга расстояния точек на касательной от соответствующих точек на окружности прямо пропорциональны квадратам скоростей и обратно пропорциональны радиусам кругов, он делает отсюда вывод, что и силы, которые притягивают тела на означенные расстояния от касательных к центру, должны давать то же отношение.* Этот закон в его общеизвестной форме $f = v^2 / r$ легко применим к движению по любым кривым, если для всякой данной точки кривой в приведенной формуле под v понимать мгновенную скорость, а под r — радиус кривизны в данной точке. Центробежную силу Гюйгенс определил также для *конических маятников* и уже в своем «Horologium» (1673 г.) рекомендовал применять подобные маятники для часов, но предложение его осталось в то время почти незамеченным.

Хотя область физических исследований Гюйгенса была чрезвычайно обширна и требовала огромного напряжения сил, но она его далеко не поглощала — великий ум Гюйгенса при всем его углублении в подробности не терял способности обзреть и целое. Мы встретимся

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ГРАДУСА. ДЛИНА СЕКУНДНОГО МАЯТНИКА 189

еще с ним как с весьма выдающимся оптиком; здесь же заметим, что в первые свои путешествия во время пребывания в Париже он работал над всеми почти физическими проблемами, которые занимали ученых того времени. Так, он устроил *двойной барометр*, в котором колебания ртутного столба были значительно увеличены против обыкновенного. С Папеном он производил *опыты по определению температуры кипения*; он повторил *опыты горения в пустоте и расширения воды при замерзании*. Он принимал участие в *измерении скорости звука*, предпринятом членами Парижской академии Дом. Кассини, Пикаром и Ремером (они нашли ее равной 1172 париж. футов в секунду).

Изобретение часов с маятником вскоре принесло неожиданные плоды. Выше было отмечено, что, по мнению Гюйгенса (в его «*Horologium*»), *длина секундного маятника должна быть повсюду равна, а следовательно, и тяжесть на всей земной поверхности должна быть одинакова*. Но уже незадолго до появления его сочинения были сделаны наблюдения, противоречащие этому. *Жан Пикар* (1620—1682, ученик и преемник Гассенди по кафедре в Collège de France) предпринял по предложению Парижской академии, членом которой он состоял, новое градусное измерение ввиду большого расхождения между измерениями Риччиоли и Норвуда. В 1669 и 1670 гг. он измерил с помощью одного базиса и 35 треугольников впервые при посредстве точных угломерных инструментов расстояние, конечными пунктами которого были Сурдон (близ Амиена) и Мальвуазен. Результаты были опубликованы им в 1671 г. в сочинении «*Mesure de la terre*». Для 1° он нашел длину в 57 060 туазов — величину, оказавшуюся вследствие случайного взаимного исключения ошибок, очень точной. Пикар в своем сочинении обращает внимание на то, что теперь, когда точно измерено определенное протяжение на земле, пора подумать и об измерении расстояния до наиболее близких к земле светил. Ввиду того, что астрономическая рефракция у экватора является наименьшей, Парижская академия отправила в 1671 г. своего члена *Жана Рише* (ум. в 1696) в Кайенну для проведения необходимых наблюдений. В конце 1673 г. он вернулся из экспедиции и по началу удостоился больших похвал со стороны академиков за точность своих работ; но он привез с собой также одно наблюдение, показавшееся вскоре академикам и неудобным и неприятным. Рише взял с собою в экспедицию хорошие часы с маятником, но заметил, что в Кайенне они отставали ежедневно на 2 минуты, так что ему пришлось укоротить маятник на 1,25 линии. Сначала он думал, что тут была какая-нибудь ошибка с его стороны, но когда по возвращении в Париж ему снова пришлось удлинить маятник на 1,25 линии, он стал убежденно настаивать на *изменяемости длины секундного маятника с географической широтой*. Самый этот факт Рише объяснял *уменьшением тяжести под экватором вследствие вращения земли*, а также тем, что, может быть, земля у полюсов сжата, поэтому тяжесть в направлении к полюсам увеличивается. Но академия и слышать не хотела о сжатии земли; необходимость укорочения маятника под экватором она была склонна приписать, между прочим, удлинению стержня маятника под влиянием теплоты, ссылаясь на то, что ни Ремер в Лондоне, ни Пикар на острове Гвене в Каттегате не за-

190 ДЕШАЛЬ ПРОТИВ ДЕКАРТА

метили разницы в секундном маятнике. Вопрос этот долго еще оставался в таком неопределенном состоянии; но когда Ньютон, на основании теоретических соображений со своей стороны высказался за сжатие земли у полюсов, вопрос этот дал повод к большому научному спору между англичанами и французами. Бедный Рише между тем сильно пострадал из-за своего открытия; в глазах академиков оно обесценило все его прочие работы, и с той поры вплоть до своей смерти Рише почти не принимал участия в работах академии. Свое открытие Рише описал в сочинении «*Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Cayenne*», Париж, 1679 г.

Из противников приобретавшего все большую славу Декарта мы упомянем Дешаля. **КЛОД ФРАНСУА МИЛЬЕ ДЕШАЛЬ** родился в 1621 г. в Шамбери, был профессором математики в Клермоне, Марселе, Лионе, и наконец в Турине, где и умер в 1678 г. Он принадлежал к тем ученым иезуитам, которые хотя и не очень обогатили науку, но по крайней мере содействовали ее распространению. Его издание Евклида было долгое время единственным учебником геометрии во Франции, а большое физико-математическое сочинение «*Cursus seu mundus mathematicus*» (Лион, 1674), трактовавшее о многих вопросах с большой ясностью, может во многом служить показателем состояния физики тогдашнего времени.

Дешаль восстает прежде всего против учения Декарта о природе твердых и жидких тел. Декарт, как мы знаем, утверждал, что твердыми являются те тела, у которых частицы находятся в непрерывном покое, а жидкими,— у которых частицы находятся в постоянном движении; сцепление же частиц твердых тел он объяснял сопротивлением инерции. Дешаль на это возражает: если бы предположение Декарта было справедливо, то отламывание от твердого тела куска требовало бы не больших усилий, чем приведение куска в движение; а мы знаем, что тело весом в один фунт легко привести в движение силой в один фунт, тогда как для отламывания часто такой силы бывает недостаточно. *Это возражение, однако, не совсем убедительно.* В самом деле, если принять вместе с Декартом, что всякое тело, погруженное в жидкость, получает удары от частиц последней и остается при этом в покое лишь благодаря тому, что удары со всех сторон взаимно уничтожают друг друга, то отсутствие всяких специфических причин сцепления (что особенно и подчеркивает Декарт) можно отстаивать еще следующим образом. Всякое твердое тело, находясь в воздухе, легко движется в нем, потому что оно со всех сторон получает от воздуха равные толчки; но когда от тела отламываются части, воздух давит на последние лишь с одной стороны и более или менее сильно препятствует их отделению. Другими словами, отделению частей препятствует не только сопротивление инерции, но еще и сопротивление воздуха. В этом пункте теория Декарта совпадает с прежним объяснением сцепления, считавшим его результатом давления воздуха. Другое возражение Дешаля против теории Декарта касается *невозможности объяснить при ее помощи растворение твердых тел в жидкостях.* Когда, говорит он, соляной раствор насыщен, жидкость не перестает быть жидкостью; и ей следовало бы по-прежнему приводить в движение но-

СЦЕПЛЕНИЕ ЧАСТИЦ. БЛУЖДАЮЩИЕ ОГНИ. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 191

вые частицы соли, т. е. растворять их, а между тем этого нет. *Сам Дешаль объясняет разницу между твердыми и жидкими телами более или менее мелким делением материи, указывая при этом и на большую или меньшую взаимную связь между частицами.* Раствор твердого тела в жидкости он считает как бы плаванием тонких частиц первого в последней; но что заставляет твердое тело распасться на части, и как могут плавать все еще более грубые частицы твердого тела среди более мелких частиц жидкости, он не объясняет. Вообще интересно отметить, что *после того, как сцепление уже объяснялось сплочением частей, давлением воздуха и косным сопротивлением, на сцену снова выступает представление об особой связи между частицами.* Так, Роберваль в своем сочинении «*Aristarchi Samii de mundi systemate liber singularis*» уже в 1644 г. высказал мысль, что *все части материи взаимно притягиваются* и что однородное вещество принимает форму шара, если только оно может свободно следовать притяжению. Впрочем, все эти мнения отличались неопределенностью, и даже сам Ньютон, *ясно отличая тяготение как притяжение на расстоянии от сцепления как притяжения при соприкосновении, не входит в рассмотрение последнего.*

Дешаль проделал более 1000 опытов для проверки законов падения Галилея; но, найдя отклонения, он верно объяснил их *сопротивлением воздуха;* при этом он высказал мысль, что *сопротивление воздуха, по-видимому, пропорционально пройденному пути.* В оптике ему принадлежит *открытие дифракционных цветов в отраженном свете;* он наблюдал их в темной комнате, заставляя падать солнечный луч на густо исчерченную царапинами металлическую или стеклянную пластинку и направляя отраженный свет на белую бумагу. Отсюда он и заключил, что цвета образуются не только при преломлении, но и при различной силе света. О *блуждающих огнях* он приводит три мнения: они производятся либо горящими телами, либо белыми телами, отражающими солнечный свет, либо, наконец, телами с особым блеском, как, например, гнилое дерево и светляк. Последнее он считает наиболее вероятным ¹. *Побочные солнца* он считает зеркальными отражениями солнца от облаков ²; круги же вокруг солнца и луны он пытается объяснить подобно радуге. *Облака,* по его мнению, состоят из мельчайших водяных капель; замерзая в верхних слоях атмосферы, они падают вниз, сливаются друг с другом и, растаяв в нижних слоях, образуют капли дождя. *Землетрясения* могут действительно частью происходить от воспламеняющихся паров, частью же они объясняются тем, что вода проникает до подземного огня и, превратившись в пар, со страшной силой ищет выхода наружу.

Последнее объяснение чрезвычайно интересно, во-первых, в виду его близости к нынешним воззрениям на этот вопрос, и во-вторых, как свидетельство того, что еще задолго до изобретения паровой ма-

¹ Роберт Флюдд (1574-1637) рассказывает, что погнавшись за блуждающим огнем, он ударом руки сбросил его на землю и нашел слизистую массу. К сожалению, это свидетель, совершенно не заслуживающий доверия.

² В пользу воздушных отражений приводится рассказ, будто в Везуле видели вооруженного солдата парящим в облаках, что привело весь город в ужас. В конце концов, однако, заметили, что это был воздушный образ статуи св. Михаила, стоявшей перед тамошней церковью.

192 ЖИЗНЬ НЬЮТОНА

шины огромная сила напряжения водяных паров была уже известна; значит, для изобретателей машины не было нужды в каких-нибудь особенных случаях, чтобы обратить внимание на эту силу.

ИСААК НЬЮТОН родился 5 января (н. ст.) 1643 г. в Вульсторпе, деревне графства Линкольн, поблизости от маленького города Грантама. Отец его умер спустя несколько месяцев после женитьбы. Исаак Ньютон родился не вполне доношенным, очень слабым младенцем. Мать его через три года снова вышла замуж, а ребенка отдала на воспитание бабушке, у которой, однако, для его умственного развития почти ничего не было сделано. Лишь на 12-м году он стал посещать городскую школу в Грантаме, где вначале считался малоспособным и даже малоприлежным учеником. Вскоре, однако, с пробуждением в нем честолюбия он стал одним из лучших учеников. Уже в то время Ньютон охотно занимался механическими работами, строил солнечные часы, ветряные мельницы и изготовлял для предмета своей юношеской любви, мисс Горей, дочери одного врача, маленькие шкафчики, столы и ящички. 16-ти лет он вернулся к матери, овдовевшей во второй раз, в Вульсторп, чтобы заняться сельским хозяйством в небольшом принадлежавшем ей поместье. Но этого рода занятия были ему не по душе, и когда Ньютону случалось приезжать в Грантам, он проводил больше времени за просмотром книг у аптекаря Кларка, чем за делами по продаже хлеба. Тогда-то мать решила по совету и при содействии своего брата пастора Эскоф отпустить сына учиться. На 18-м году (1660 г.) Ньютон поступил, крайне плохо подготовленный, в одну из коллегий (Trinitu College) Кембриджского университета, где ранее учился и его дядя. По счастью, молодой студент обладал такими способностями, которые сделали для него школьную подготовку ненужной. Элементарные сочинения по математике сразу показались молодому гению слишком легкими, так что он почти начал свое обучение с «Геометрии» Декарта, «Arithmetica infinitorum» Валлиса и сочинений Кеплера. Несмотря на такой для более слабых студентов ненормальный способ занятий, он уже в 1665 г. получил степень бакалавра, а в 1667 г. стал магистром и старшим коллегиятом. В 1669 г. Барроу, профессор Кембриджского университета с 1663 г., поручил Ньютону издание своих геометрических и оптических лекций и в том же году отказался от кафедры математики в пользу Ньютона, чтобы самому всецело отдаться геологии.

Таким образом изучение Декарта и Кеплера, равно как лекции Барроу, привели Ньютона уже в начале его ученой карьеры в область оптики. Приняв профессуру по математике, он читал лекции по оптике до 1671 г., и уже к этому времени относится одно из его величайших •оптических открытий — различная преломляемость цветов. Королевское общество, узнав об упомянутом нами выше телескопе Ньютона, предложило ему представить этот инструмент, и Ньютон послал его секретарю общества Ольденбургу в декабре 1671 г. Вслед за этим 11 января 1672 г. Ньютон был избран членом общества. Новый член тотчас же показал, что был достоин оказанной ему чести. 18 января он пишет Ольденбургу: «Прошу Вас уведомить меня в следующем письме, долго ли еще будут продолжаться еженедельные собрания об-

РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ 193

щества. Если они еще продлятся некоторое время, я намерен представить на рассмотрение общества доклад об одном физическом открытии, которое навело меня на устройство телескопа. Я не сомневаюсь, что это открытие понравится обществу больше самого телескопа, потому что, по моему мнению, оно важнее всего, что было до сих пор сделано по вопросу о природе света».

6 февраля доклад был послан. В нем заключалось *ньютоническое открытие дисперсии света и объяснение цветов; в сопроводительном письме ни имя Ольденбурга он изложил весь ход этих открытий с 1666 г.* Общество поручило рассмотреть работу Ньютона комиссии в составе Сета Уарда (оксфордского профессора астрономии), Бойля и Гука; комиссия отозвалась о работе очень одобрительно, и трактат был напечатан в «Transactions». Однако согласие между Ньютоном и Гуком продолжалось недолго. Как мы уже видели, последний изучал цвета тонких пластинок и представил обществу доклад по этому вопросу в 1672 г. Ньютон, занявшись тем же вопросом позднее, подверг его более углубленной разработке и пришел к теории, изложенной в 1675 г. в трактате «*Discourse on light and colours*», который был представлен Королевскому обществу. Так как теория Ньютона расходится с теорией Гука, то между обоими учеными завязался весьма ожесточенный спор, в результате которого Ньютон принял решение не печатать ничего по вопросу о свете, пока жив Гук. Правда, Гук опубликовал в 1675 г. трактат о *дифракции*, а Ньютон в 1676 г. — о *естественной окраске тел*, но затем последний действительно замолчал вплоть до смерти Гука в 1702 г. Лишь два года спустя (1704) Ньютон собрал по настоянию друзей свои работы по оптике и опубликовал их под заглавием: «*Optics, or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light*». Позднее в 1728 г., уже после его смерти, вышли его «*Lectiones opticae*», излагавшие оптику в более строгой форме. Оба сочинения, получившие почти каноническое значение, пережили много изданий; например, оптика на латинском языке была издана в 1719, 1721 и 1728 гг. в Лондоне; в 1740 г. — в Лозанне; в 1773 г. — в Падуе; по-английски в 1714, 1721 и 1730 гг. в Лондоне; по-французски — в 1720, 1726 и 1787 гг.¹ После того как Ньютон принял кафедру математики, во внешних условиях его жизни долгое время не происходило никаких перемен, хотя слава его оптических открытий разнеслась по всему свету. Ниже, когда будет речь о механических работах Ньютона, мы еще вернемся к его жизнеописанию.

Экспериментальная сторона ньютонических открытий по оптике была, по-видимому, уже вполне закончена в 1676 г.; да и теория была уже к этому времени в большей своей части разработана. Впоследствии он был настолько поглощен сначала механико-астрономическими исследованиями, а затем и другими занятиями по своей профессии, что в этой области он дал, по-видимому, очень мало, кроме некоторого углубления вопроса о причинах оптических явлений, о природе света и о связи с его же теорией притяжения.

¹ Имеется русское издание «Оптики». Москва, Гиз, 1927. (Прим. ред.).

194 ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА В ПРИЗМАХ. РАССЕЯНИЕ СВЕТА

Оптика Ньютона распадается на *три* книги: в *первой* излагаются вопросы об отражении, преломлении и дисперсии света; во *второй* — о цветах тонких пластинок, естественной окраске тел, а также о цветах толстых слоев; в *третьей* излагается дифракция света, а также ряд вопросов, неоконченные опыты и неразрешенные проблемы.

По словам самого Ньютона, он в 1666 г. начал исследование *преломления света в стеклянных призмах*. Маловероятно, чтобы ему в то время были известны замечания Гримальди о рассеянии света, так как, во-первых, Ньютон ничего не упоминает об этом, и во-вторых, возможно, что в то время он еще недалеко ушел от своих учителей Кеплера и Декарта. С целью более удобного наблюдения *призматических цветов* он постепенно пришел к установке, которая неожиданно оказалась очень полезной для объяснения явления. В ставне затемненной комнаты он прорезал круглое отверстие диаметром в $\frac{1}{4}$ дюйма, вплотную позади отверстия поместил призму с (преломляющим углом в $63^{\circ}12'$, а на расстоянии 22 футов от ставни поставил экран для получения солнечного изображения. При этом на экране получился цветной спектр в $2\frac{5}{8}$ дюйма ширины и $13\frac{1}{4}$ дюйма длины, с прямолинейными сторонами и закругленными углами. Ширина спектра соответствовала видимому диаметру солнечного диска в $31'$, *длина же была внятеро больше той, которая должна была бы получиться без дисперсии света*. Затем Ньютон постарался определить, является ли дисперсия света случайным явлением или же оно *необходимо связано с преломлением света в призме*. После того, как в результате многочисленных опытов последнее подтвердилось и вместе с тем было доказано, что после преломления лучи снова распространяются прямолинейно, Ньютон пришел к убеждению, *что белый солнечный свет состоит из цветных лучей, что в каждом солнечном луче содержится большое количество цветных лучей, что каждый различно окрашенный луч отклоняется при преломлении на различную величину, и что, следовательно, благодаря преломлению многоцветный свет обычно собранный в белый, разлагается и отбрасывается на различные места экрана*. Но если это так, то различно окрашенные лучи должны иметь даже в одних и тех же средах различные показатели преломления; *красные, судя по их положению в спектре, должны всегда преломляться слабее всех прочих, а фиолетовые, наоборот, сильнее*. Эти выводы Ньютон постарался подтвердить экспериментально, и опыт, приведший его к цели, который он вместе с тем считал вообще решающим для теории дисперсии, он назвал *experimentum crucis*¹. Позади призмы был помещен экран с очень маленьким отверстием, в 12 футах позади нее — другой экран, опять-таки с маленьким отверстием, затем вторая

¹ До сих пор у нас не было еще случая констатировать прямое влияние Бэкона на физику. Оно чувствовалось разве у одного Еойля, поскольку последний боялся гипотез. Но со следами этого влияния мы вскоре встретимся у Ньютона; оно выражается, между прочим, и в своеобразном термине *experimentum crucis*, напоминающем одно выражение Бэкона. Говоря в своем «Organon» о «важнейших случаях» при исследовании естественных явлений, Бэкон замечает: «к важнейшим случаям я причисляю крестные случаи, заимствуя это слово от крестов, встречающихся на распутьях. Эти же случаи я называю решающими (испытательными), иногда пророческими».

ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВ 195

призма и, наконец, воспринимающий экран. Поворачивая первую призму около преломляющего ребра, Ньютон мог пропустить через отверстие первого экрана любой из спектральных цветов; отверстие во втором экране еще более очищало избранный свет, так что на вторую призму падал свет уже почти однородный. При этом, как он и ожидал, оказалось, во-первых, что *вторая призма уже почти не рассеивает цветов*, и во-вторых, что *показатель преломления постепенно возрастает от красного цвета к синему*. Когда таким образом выяснилось, что каждому цвету соответствует особый показатель преломления (и наоборот), то далее предстояло определить эти показатели в отдельности, но для этого нужно было раньше точно отграничить отдельные цвета. По теории Ньютона спектр состоит из отдельных различно окрашенных круглых пятен соответственно различной преломленности лучей; но так как края спектра были прямолинейны, то Ньютон решил, что спектр составляется из *бесконечно большого числа кругов* и что, следовательно, имеется *бесконечно большое количество цветов, постепенно переходящих друг в друга*. Чтобы, однако, разграничить части спектра определенным образом, он разделил его на общеизвестные семь основных цветов и попытался *определить протяжение каждого из них, равно как и протяжение промежуточных переходных тонов*. Продолжив спектр за фиолетовый край на такую же длину и приняв двойную длину спектра за единицу, он нашел протяжение от конца продолженного спектра до конца фиолетовых лучей равным $\frac{1}{2}$, а отсюда до конца синих $\frac{9}{16}$, до конца голубых $\frac{3}{5}$, и далее $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{8}{9}$ и 1 (до конца красных). Ньютону показалось крайне интересным, что эти числа пропорциональны длинам струн, соответствующих тонам минорной гаммы; но нельзя не видеть, что это сходство не является естественным и что оно получается в результате произвольного разграничения цветов. Несмотря на это, сходство семи цветов с семью тонами октавы и позднее наводило ученых на рискованные сближения. Некто *П. Кастель* составил проект оптической музыки и оптического фортепиано, обещая доставить ими глазу такое же наслаждение, какое ухо получает от гармонических звуков. Свой план он изложил в 1731 г., но большой конкуренции звуковым фортепиано не составил ¹.

Для Ньютона эти числовые отношения, несмотря на их произвольность, имели то значение, что, приняв ширину каждой из разграниченных таким образом полос пропорциональной разности синусов углов преломления при одинаковых углах падения, он вычислил из показателей преломления крайних цветов показатели всех промежуточных пяти, по крайней мере, для случая перехода из стекла в воздух. Этими же числами он воспользовался для того, чтобы решить, в какой пропорции следует смешать различные цвета, чтобы получился белый свет. К сожалению, восстановление белого света ему удалось осуществить лишь для призматических цветов, а смешением света от цветных пигментов он получил лишь неопределенные серые тона, которые более или менее приближались к белому цвету.

¹ *Montucla*, «Hist, des Math.», III, стр. 566, 567.

196 РАДУГА. АХРОМАТИЗМ

Чтобы объяснить появление *цветной каймы* тел при наблюдении сквозь призму, Ньютон пропускал свет на призму через отверстие почти такой же ширины, как сама призма. Тогда на экране получалось изображение щели белое по середине, фиолетовое с одного края и красное с другого. Это изображение он объяснил слиянием многих спектров, которые по середине все покрывают друг друга, между тем как от верхнего спектра остается непокрытым и однородным и чистым по цвету только верхний край, и от нижнею — только нижний.

Свои открытия по дисперсии света Ньютон с большим успехом приложил и к *теории радуги*. Декарт лишь мог определить, что главная и побочная радуга состоят из дуг круга с радиусами приблизительно в 41° и 51° . *Ньютон же не только объяснил цвета радуги и их расположение в обеих дугах, но, зная показатели преломления для разных цветов, мог с точностью определить радиусы отдельных цветных дуг и, следовательно, самую ширину обеих радуг. Ширину главной радуги он нашел в $2^\circ 17'$, а побочной — в $3^\circ 43'$.* Этим теория радуги была исчерпана, за исключением «избыточных» радуг, которые появляются как за внутренним краем главной радуги, так и за наружным побочной; впрочем, вполне удовлетворительного объяснения для них не существует и доныне.

Открытие дисперсии света произвело большой переворот как в теории, так и в практике зрительных труб. До того времени неясность изображений в сильно увеличивающих зрительных трубах приписывали главным образом *сферической аберрации* (явлению, происходящему вследствие того, что сферические поверхности не собирают в одной точке всех лучей, выходящих из какой-либо точки). Поэтому Декарт предлагал даже употреблять *эллиптические или гиперболические стекла*. Ньютон показал, что вред от сферической аберрации значительно меньше, чем от дисперсии света, и *предложил* поэтому *зеркальные телескопы*, где последний недостаток почти устраняется. К сожалению, он допустил при этом важную ошибку. *Считая дисперсию света необходимо связанной с преломлением, он полагал, что их величины пропорциональны друг другу;* другими словами, он не предполагал, что отношение между преломлением и цветорассеянием в разных средах различно и что, следовательно, могут быть найдены способы устранять дисперсию, сохраняя в то же время преломление, или наоборот. Как бы то ни было, *он был убежден в невозможности уничтожить хроматическую аберрацию в трубах с чечевицами*, и для сильных увеличений считал рефлекторы единственно возможными инструментами. Мы имеем здесь один из немногих случаев, когда мнение Ньютона оказалось ошибочным, несмотря на то, что оно относилось к области фактов и математических отношений.

Цвета тонких пластинок были исследованы Ньютоном совершенно тем же путем, как и дисперсия света. Чтобы удобнее наблюдать эти явления, которыми занимались уже Бойль и Гук, Ньютон употребляя сочетание двояковыпуклой чечевицы с плосковыпуклой или плосковыпуклой чечевицы со стеклянной пластинкой, прижимая чечевицу выпуклой стороной к плоской поверхности. Рассматривая стекла в однородном (одноцветном) отраженном свете, он находил в том месте, где они соприкасались, темное пятно, а вокруг него — попеременно светлые и

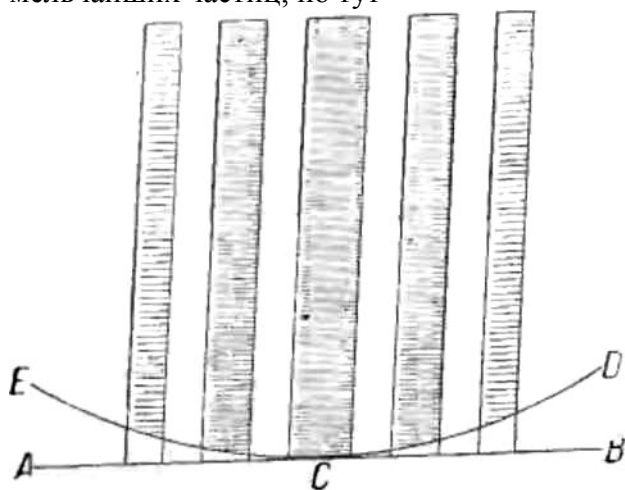
ЦВЕТА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК 197

темные кольца. В белом свете явления оставались по форме те же, но вместо светлых и темных колец получались чередующиеся кольца разных спектральных цветов. При рассматривании в проходящем свете явление «обращалось» в том смысле, что бывшее светлое кольцо оказывалось темным, и всякий данный цвет превращался в дополнительный. Ньютон различал повторяющиеся в разных кольцах цвета как цвета первого, второго, третьего и т. д. порядков и пытался прежде всего определить количественную сторону явлений. Наложив двояковыпуклую чечевицу с радиусом кривизны в 50 футов на плоскую сторону плосковыпуклой чечевицы с радиусом кривизны в 7 футов, он нашел, что в отраженном белом свете толщина воздушных слоев между стеклами в самом светлом месте первого цветного кольца составляла $\frac{1}{178000}$ дюйма, в самом светлом месте второго кольца $\frac{3}{178000}$, в третьем $\frac{5}{178000}$ и т. д.; тогда как толщины воздушных слоев в самых темных местах кругов равнялись $\frac{2}{178000}$, $\frac{4}{178000}$, $\frac{6}{178000}$ и т. д. Таким образом *толщины воздушных слоев, а отсюда и квадраты соответствующих радиусов цветных кругов относились между собой, как ряд натуральных чисел*. Тот же закон был найден Ньютоном для всех кругов, образующихся в однородном свете; только здесь абсолютные величины кругов были не одинаковы, а именно, в различных однородных лучах квадраты радиусов первых светлых кругов относились между собой, как кубические корни из чисел 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$ соответственно цветам белому, красному, оранжевому и т. д. до фиолетового. Из такого различного положения кругов в различных одноцветных лучах легко было при помощи теории сложного состава белого света объяснить происхождение цветных кругов в белом свете. Оставалось только найти объяснение кругов, видимых в однородном свете, на основании общих свойств световых лучей. Ньютон заподозрил, как видно из примененных им способов измерения, что эти круги происходят от воздушного слоя между стеклами, и с целью проверить свое предположение он наполнил пространство между стеклами водой. Круги появились и при этом условии, но размеры их представляли лишь $\frac{7}{8}$ величины кругов прежних опытов, и толщины соответственных водяных слоев составляли, следовательно, не более $\frac{49}{64}$ соответственных толщин воздушных слоев. Это число приблизительно равно показателю преломления $\frac{8}{4}$ при переходе из воды в воздух. Приняв такое отношение для всех веществ, Ньютон считал возможным на основании однажды вычисленных для воздуха толщин промежуточных слоев определить соответственные толщины и для других веществ и применил эти данные к своей теории естественных цветов тел. Несмотря, однако, на установленную зависимость цветов от толщины воздушных слоев между стеклами, основной вопрос, т. е. происхождение самих колец, все еще оставался невыясненным. Ньютон после долгих размышлений счел себя, наконец, вынужденным приписать световым лучам совершенно новые и странные свойства. Он допустил, что *каждый луч на своем пути претерпевает особого рода видоизменения, вследствие которых он становится в одном месте более способным к отражению, а в другом легче преломляемым*. Эти видоизменения или так называемые приступы отражения и преломления (fits of easy reflexion or of

198 ВИДОИЗМЕНЕНИЯ, ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ. ЕСТЕСТВ. ЦВЕТА ТЕЛ

easy transmission) следуют друг за другом в равные, но весьма малые промежутки времени, которые, однако, (неодинаковы для различных цветов: именно, последние всего больше для красного, и всего меньше для фиолетового. Пусть на плоскую стеклянную пластинку AB будет положена плосковыпуклая чечевица ECD : в таком случае луч света, падающий на AB , смотря по фазису приступа, в котором он находится в данное мгновение, частью пройдет через AB , частью же будет отражен. Посмотрим теперь на чечевицу сверху, стало быть в отраженном свете. Вблизи точки C свет упадет на чечевицу еще в том самом состоянии, в котором он упал на AB , т. е. в состоянии большой отражаемости, и будет, следовательно, отброшен от этой поверхности: тогда глаз, расположенный над ECD , увидит вокруг C темное пятно. Но лучи, падающие дальше от C , должны пробегать от ACB к ECD более длинный путь, и потому на некотором расстоянии от C будут падать на ECD , находясь уже в противоположном периоде более легкой преломляемости, они, следовательно, пройдут через ECD , и глаз увидит светлый круг и т. д. Легко, далее, понять, почему цветные круги выявляются отдельно лишь при очень тонких слоях, и каким образом вещество промежуточного слоя может изменить размеры интервалов приступов. Но, с другой стороны, крайне трудно, конечно, представить себе существование подобных приступов в светлом луче. Мы ниже еще познакомимся с доводами Ньютона в пользу различных свойств лучей.

Итак, тонкие пластинки будут пропускать только более или менее однородный свет, именно такой, который успеет достичь обеих поверхностей пластинок в одном и том же фазисе приступа. Ньютон объясняет таким образом происхождение цветных колец, игру цветов в мыльных пузырях, цвета тонких пластинок слюды, закаленной стали, расплавленных металлов и даже естественные цвета тел вообще. Всякое однородное тело по природе прозрачно, и непрозрачность его происходит только вследствие нахождения внутри тела множества наполненных воздухом промежутков (пор), от стенок которых свет многократно отражается и вследствие этого гаснет. Вот почему стекло вполне прозрачно; пористая же бумага просвечивает только после того, как ее поры наполняются пропитывающим маслом; пластинки всех вообще веществ должны быть прозрачны при достаточно малой толщине. Непрозрачное тело состоит, по крайней мере на поверхности, из прозрачных тонких пластинок, которые, смотря по свойствам тела, более или менее тонки и, следовательно, пропускают лучи того или другого цвета. Цвет этих тонких пластинок и будет естественным цветом тела вообще, Ньютон хотел даже воспользоваться естественными цветами тел для вычисления величины их мельчайших частиц, но тут



Черт. 11.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА 199

возникло затруднение, являются ли цвета данного тела цветами первого, второго или третьего порядка.

Теория Ньютона о составном характере белого света нашла блестящее подтверждение при исследовании им явлений дифракции¹, где он повторил опыты Гримальди с необходимыми для его целей видоизменениями. Он пропускал в темную комнату свет через отверстие свинцовой пластинки, улавливая его на белый экран; поперечник отверстия был равен $\frac{1}{4}$ дюйма. Когда при этих условиях он держал в 12 футах позади отверстия человеческий волос толщиной в $\frac{1}{280}$ дюйма и улавливал тень на расстоянии 4 дюймов от волоса, то ширина тени равнялась $\frac{1}{60}$ дюйма; на расстоянии же 2 дюймов от волоса она равнялась $\frac{1}{28}$ дюйма и т. д. Тень была, следовательно, во всяком случае гораздо шире, чем она должна была быть при чисто прямолинейном распространении света; сверх того, по обе стороны ее виднелись три цветные полосы, окаймленные изнутри голубым цветом, а снаружи красным. Для объяснения этого явления Ньютон проделал те же опыты с однородным светом и здесь нашел то же, что и прежде на кольцах, именно только ряд светлых и темных полос, расстояния между которыми были, однако, различны для разных цветов. При красном цвете расстояние первой полосы от тени, отбрасываемой волосом в 6 дюймах расстояния, равнялось $\frac{1}{37}$ дюйма; в фиолетовом же цвете то же расстояние составило $\frac{1}{46}$ дюйма. Отсюда Ньютон вновь вывел заключение, что как в явлениях преломления и цветах тонких пластинок, так и в явлениях дифракции света составные цвета белого света изменяются и отклоняются неравномерно, но расходятся и располагаются рядом. Для объяснения же появления полос и в однородном свете *Ньютон был вынужден придать свету еще одно новое свойство*. Он предположил, что всякий свет, встречая на пути своего распространения какое-нибудь тело, в известной мере отталкивается или отклоняется телом в сторону, чем и объясняется наблюдаемое расширение тени; но, обладая в то же время приступами, свет отгибается в большей или меньшей степени, описывая при прохождении подле тел змееобразно изогнутую линию. Тройные полосы возле тени являются результатом отклонения различных лучей в различных фазах приступа.

Для правильной оценки работ Ньютона в них следует различать *три стороны*. Первая состоит в констатировании фактов и определении их количественных отношений. Вторая — в объяснении всех явлений цветов, исходя из теории сложного состава белого света. Наконец, третья сторона заключается в истолковании различной преломляемости, различной отклоняемости и т. д. при помощи гипотезы различных приступов световых лучей. По поводу всех этих трех сторон теории, и притом далеко не с одинаковым основанием, Ньютон и его учение подверглись столь многочисленным нападкам и встретили такое множество противников, как редкий из людей и редкая из теорий. Вместе с тем, в отношении всех этих трех сторон своего учения — опять-таки с не-

¹ Ньютон назвал это явление склонением (inflexion), Гук уклонением (deflexion), Гримальди — дифракцией. Удержалось, как наиболее правильное, только последнее выражение.

200 ПРОТИВНИКИ И ЗАЩИТНИКИ НЬЮТОНОВОЙ ОПТИКИ

одинаковым правом — Ньютон получил такое *широкое признание* и приобрел такой *авторитет*, как немногие из ученых.

Что касается констатирования фактов, то здесь противники Ньютона распадаются на два лагеря: *одни утверждали, что самые факты неверны, другие же, — что Ньютону не принадлежит присвоенное им право первенства их открытия.* К числу противников первого рода принадлежал доктор *Ф. Линус* из Люттиха, известный уже нам с не особенно выгодной стороны; в письме к своему приятелю (октябрь 1674) он сообщил, что ему никогда не удалось видеть удлиненного спектра при ясном безоблачном небе; позднее же он взял под сомнение наблюденную Ньютоном форму спектра. После смерти Линуса на сцену выступил его ученик *Гасконь* с заявлением, будто он со многими свидетелями видел спектр круглой формы. Когда же его принудили замолчать, люттихский физик *А. Лукас* сообщил, что он воспроизвел те же опыты другим способом, чем описано у Ньютона. Вначале Ньютон жаловался на то, что его опыты берут под сомнение, между тем как их достоверность должна быть очевидна каждому при внимательном исследовании; под конец же он обратил внимание своих противников на то, что они, по всей вероятности, наблюдают при слишком широком отверстии и получают вследствие этого цветные каймы вместо спектра или же принимают побочный спектр, образующийся вследствие отражения от боковых поверхностей призмы, за главный спектр, даваемый преломлением. Он особенно настоятельно выставлял на вид свой *experimentum crucis* и его подробное описание. Мало-помалу эти доводы успокоили противников Ньютона ¹. Впрочем и позднее раздавались время от времени подобные же возражения. *Мариот*, например, повторяя опыт по указанию Ньютона, не нашел фиолетовых лучей однородными, вследствие чего оксфордский профессор *Дезагюлье*, весьма искусный экспериментатор, доказал по поручению Ньютона, что Мариотт недостаточно тщательно отделил лучи. Наконец, за несколько лет до смерти Ньютона венецианец *Рицетти* заявил, что он повторил все опыты Ньютона и нашел их все без исключения неудовлетворительными и ничего не доказывающими. Лейпцигский профессор *Г. Ф. Рихтер* отвечал ему, что виноват тут не Ньютон, а его собственное неумение и невнимательность, когда же и после этого Рицетти не унялся, то Дезагюлье в 1728 г. доказал его несостоятельность уже с неопровержимой ясностью. Действительно, с этой стороны Ньютон был неуязвим. В числе людей, оспаривавших право первенства Ньютона на различные открытия и обвинявших его в присвоении чужой

¹ Ньютон, к сожалению, не воспользовался удобным случаем для исправления своего ошибочного вывода о постоянной пропорциональности дисперсии света и его преломления. После возражений Ньютона Лукас повторил свои опыты и наблюдал те же явления, как и Ньютон, хотя нашел, что спектр только в $3\frac{1}{2}$ раза длиннее своей ширины. Лукас сообщил об этом расхождении Ньютону, но последний все-таки остался при убеждении, что спектр в 5 раз длиннее своей ширины. По всей вероятности, однако, призма голландца была сделана из стекла, рассеивавшего свет меньше английского. Если бы Ньютон не ограничился простым отрицанием результатов Лукаса, а проверил их, он бы, конечно, убедился в различии отношения между преломлением и дисперсией в различных средах.

НЬЮТОН И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА 201

собственности, первое место занимает Гук. Он жаловался, например, что Ньютон присвоил себе сделанное им открытие цветов тонких пластинок. Ньютон ответил, что действительно он воспользовался работами Гука и других при исследовании явлений дифракции, при объяснении прозрачности и непрозрачности тел, а также цветов тонких пластинок, но что, во всяком случае, Гук предоставил ему самому придумать и осуществить необходимые опыты для получения цветов. Кроме того, Гук не дал каких-либо детальных указаний, помимо общего заявления, что цвет зависит от толщины пластинки, и даже сам сознался в тщетности своих усилий определить толщину, соответствующую отдельным цветам. Эти-то последние данные и были добыты им, Ньютоном, после многих трудов, почему он и вправе считать их своей собственностью. Против второй части ньютоновских открытий, *против теории сложного состава белого света*, восстало лишь несколько голосов, притом гораздо позднее, к концу XVIII столетия. Они нашли мало сочувствия в среде физиков; физики и математики были вообще расположены в пользу дисперсии света и высказывали сомнение лишь по отдельным частным вопросам. Иезуит *Пардиз* (профессор математики в Клермоне) попробовал, было в 1672 г. объяснить спектр дифракцией света, но должен был тотчас же сдаться. В том же 1672 г. выступил какой-то *аноним*, не отрицавший сложного состава белого света, но допускавший существование только двух основных цветов. Анонимным автором был, несомненно, Гук. К его мнению примкнул в 1673 г. *Гюйгенс*, который тоже полагал, что все явления могут быть объяснены при допущении двух цветов (синего и желтого). Против обоих Ньютон выступил победоносно со своим *experimentum crucis*. Тогда оба противника напали на *третью часть ньютоновской теории*, на гипотезу различных приступов светового луча и на ньютоновское воззрение на сущность света вообще.

Гук, как мы уже знаем, наметил в несколько туманной форме новую *теорию световых колебаний*, истинным творцом которой, как мы скоро увидим, был, однако, Гюйгенс. Ньютон же больше склонялся в пользу *теории истечения света* и на ней в конечном счете основывал свои объяснения явлений света. *Тем не менее, он положительно отрицал, будто он считает эту теорию единственно правильной*, вполне сознавая, что для объяснения его важнейших открытий вовсе не требуется решения в пользу той или другой теории. Произведенное им *определение различной преломляемости цветных лучей и его учение о составе белого света остаются непоколебимыми, независимо от каких-либо теорий* и, следовательно, не могут быть оспариваемы с точки зрения какой бы то ни было теории. Точно так же *сведение естественных цветов тел к цветам тонких пластинок не связано с какой-либо гипотезой о природе света*. На этом основании Ньютон мог в 1672 г. с полным правом употребить в своем ответе безымянному противнику, напечатанном в «Philosophical Transactions», следующие выражения: что касается упрека в том, что он (Ньютон) рассматривает свет скорее как материальное вещество, чем как энергию, приводящую в колебание эфир, то он не отрицает своей склонности к первому воззрению; вопро-

202 ТЕОРИЯ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА. СВОЙСТВА ЛУЧЕЙ

чем, последнее не имеет никакого отношения к открытым им свойствам света. И так как *истинная сущность света представляется ему загадочной, он намеренно избегает высказывать какое-либо определенное суждение о том, каким образом свет распространяется.* Если, однако, желать придерживаться гипотезы Гука и Гюйгенса, согласно которой ощущение света обуславливается сотрясением эфира, подобно тому как ощущение звуков — колебаниями воздуха, то весьма легко переложить различную преломляемость света на их язык. Тогда *ощущение белого света было бы тем ощущением, которое получается, когда все колебания, исходящие от светящегося тела, достигают глаза без смешения; ощущение же цветного света пришлось бы объяснить разложением неравных колебаний, вызванных сопротивлением преломляющей среды.* Так как наибольшие и наиболее продолжительные колебания дают ощущение красного цвета, наиболее малые и короткие — фиолетового, а промежуточные между ними — ощущение прочих цветов, то самые большие колебания естественно должны легче преодолевать препятствия среды и испытывать меньшее преломление сравнительно с другими. Следовательно, различная преломляемость света несколько не противоречит гипотезе, по которой цвета обуславливаются различной скоростью колебаний эфира, подобно тому, как звуки происходят от неравных колебаний воздуха. Несмотря на это, Ньютон все-таки чувствовал вполне естественную и правильную потребность дать теоретическую основу своему учению о приступах световых лучей, и потому со временем все более и более склонялся в пользу теории истечений, хотя еще в своей оптике, изданной в 1704 г., он не признавал теорию колебаний исключенной, а в приложенных к книге вопросах прямо ссылается на нее.

Итак, по мнению Ньютона, *всякое светящееся тело испускает мельчайшие частицы, которые, попадая на сетчатку, производят ощущение света; величина этих частиц для различных цветов различна, всего больше она для красного, всего меньше для фиолетового цвета.* Все частицы при своем переходе в более плотную среду или даже при приближении к ней испытывают притяжение, вследствие чего при наклонном падении на поверхность раздела двух сред мельчайшие из частиц отклоняются всего сильнее, а наиболее крупные всего меньше. При этом у всех частиц без исключения благодаря притяжению скорость увеличивается, и потому *последняя должна в более плотной среде быть большей, чем в менее плотной среде.* Притяжение световых лучей материей оказалось, однако, недостаточным для объяснения всех явлений; в связи с отражением света *материальным средам приходилось приписать и отталкивательную силу*, а оба эти влияния уже было трудно совместить. Но при этом столь частое наступление световых приступов оставалось все еще не разьясненным. Для последней цели Ньютон принял еще, что *световые частицы приводятся отталкивательными или притягательными силами или другими влияниями в колебание, которое происходит в направлении луча, но распространяется со скоростью, большей скорости света.* Следовательно, луч получает приступ более легкого прохождения или более легкого отражения в зависимости от того, увеличивается ли скорость распространения луча

БЛИЖАЙШАЯ СУДЬБА ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА 203

под влиянием скорости колебания или получает противоположное направление. Для объяснения *явлений дифракции* световые лучи должны были опять претерпевать новые приступы. В «Вопросах», приложенных к «Оптике», Ньютон ставит вопрос, *не зависит ли пригибание и отгибание лучей при прохождении их возле тела, бросающего тень, от изменчивых приступов к притяжению или отталкиванию их телами*. Наконец, помимо разнообразных приступов, луч был еще наделен различными другими свойствами. Так, для объяснения *вновь открытого двойного преломления в известковом шпате* Ньютон счел необходимым предположить, что луч света имеет по различным направлениям различные свойства, а именно — две противолежащих стороны его дают обыкновенное преломление, а другие две стороны — необыкновенное. Как ни остроумна последняя мысль и как ни плодотворна она оказалась при объяснении поляризации на основе волновой теории, но в отношении гипотезы истечений она являлась еще одним из тех произвольных и необоснованных предположений, *накопление которых сделало эту теорию все более и более неправдоподобной и, наконец, совершенно невозможной*.

При всех произвольных предположениях у Ньютона было всегда наготове оправдание, что *гипотезы не оказывают никакого влияния на его оптические открытия, что у него нет никакого интереса к вопросу о природе света, и что он свою теорию дает лишь в виде удобного вспомогательного средства для объяснения, а отнюдь не как нечто фактически существующее*. Когда вышла в свет ньютоновская «Оптика» (1704), трактат Гюйгенса¹, где все оптические явления объяснены с точки зрения световых колебаний, был уже давно известен, следовательно, *для такого человека, как Ньютон, имелось достаточно оснований для окончательного выбора между двумя противоположными теориями*. Односторонность, в результате которой он не считал физика обязанным заниматься исследованием сущности явлений, и упорство, с которым он сам уклонялся от проверки физических работ, могущих дополнить его односторонний взгляд, были весьма прискорбны и принесли много вреда его ученикам и преемникам. Последние уже прямо и решительно отказались от проверки противоположных мнений и, опираясь на гений и добросовестность своего учителя, провозгласили теорию истечений, принятую Ньютоном только как удобный способ объяснения, единственно верной и соответствующей действительности. Несмотря на то, что среди приложенных к «Оптике» 1704 г. вопросов можно встретить и такие, где Ньютон допускает возможность волновой теории, ученики не поняли приема, при помощи которого учитель желал только сложить с себя ответственность и необходимость дальнейшего исследования. Они придерживались лишь того, что использовал учитель, не обращая внимания ни то, что учитель одновременно считал не исключенным. *Ньютон должен был еще на склоне лет заметить такое направление в работах своих учеников, но он не принял против него никаких мер*. При рассмотрении теории всеобщего тяготения мы

¹ Ньютон, по-видимому, успел только поверхностно прочесть это сочинение, потому что в своей «Оптике» он дает неверное правило для нахождения необыкновенного луча, тогда как у Гюйгенса уже дано верное.

еще раз встретимся с подобным же странным образом действия со стороны великого физика.

В результате *волновая теория света была голословно отвергнута последующими поколениями, и когда с течением времени она попыталась вновь возродиться, то она могла одержать верх над враждебной теорией, освященной столетней традицией, лишь после упорной борьбы и при помощи новых научных открытий.*

К числу физиков-экспериментаторов, какими были Бойль, Гук и др., принадлежит и МАРИОТТ, отличавшийся, впрочем, от них значительной математической подготовкой. О жизни его известно очень немного. Родившись в 1620 г. в Бургонии, он рано принял духовное звание, был священником St. Martin Sous Beaune в окрестностях Дижона, сделался в 1666 г. членом Парижской академии и умер в Париже в мае 1684 г. Мы уже упоминали о заслугах Мариотта в области *учения об ударе тел*, а также о менее удачном его *возражении против ньютоновской теории цветов*. Впрочем, в сочинении «*Essai sur la nature des couleurs*» (Париж, 1681), где помещено это неудачное возражение, имеются другие главы, способные принести ему больше славы. К числу последних относятся в особенности *исследования цветных колец вокруг солнца и луны, а также побочных солнц и побочных лун*. Среди колец отличают два вида: *меньшие* с радиусом в $2\text{—}5^\circ$ и *большие* с радиусом в $20\text{—}40^\circ$. Меньшие кольца Мариотт пробовал объяснить двойным преломлением лучей света при прохождении их через водяные капли. Это, однако, неверно, потому что при таком условии порядок цветов был бы обратным; правильное, признаваемое и до сих пор верным объяснение этого явления было дано впервые *Фраунгофером*. Что касается больших колец и побочных солнц, то Мариотт совершенно правильно объяснил их присутствием ледяных иголок и призм, носящихся в более высоких слоях атмосферы. Он даже тщательно вычислил величину дуг на основании своей теории и нашел результаты согласными с наблюдением. Мы, однако, не можем останавливаться долее на этих вопросах, которыми занимался и Ньютон в своей «Оптике», а Гюйгенс — в отдельной монографии. Подробности можно найти у Вильде («*Gesch. d. Optik*», том II, стр. 273 — 294).

Другое важное оптическое открытие было сообщено Мариоттом Парижской академии уже в 1666 г.¹, именно открытие так называемого *слепого пятна в глазу*. При анатомических исследованиях он заметил, что зрительный нерв входит в глаз не против самого зрачка, а несколько наискось, ближе к носу. Попробовав затем направить изображение предмета на это место, он к величайшему своему удивлению должен был убедиться, что оно совершенно не чувствительно к свету. Отсюда Мариотт вывел любопытное заключение, что сетчатая оболочка вообще не является органом зрения, и в подтверждение указал на ее прозрачность. По его мнению, восприимчивой к свету частью глаза должна быть сосудистая оболочка, черный цвет которой особенно приспособлен для этой функции. Воззрение Мариотта долго служило пред-

¹ Observations sur l'organ de la vision.

ПРОЧНОСТЬ ТЕЛ. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ 205

метом споров, пока, наконец, Галлер (1708 — 1777) не восстановил раз навсегда прав сетчатки в своей «*Physiologia*».

Важнее оптических исследований Мариотта его работы по *механике жидкостей и газов*, изложенные в сочинениях «*Essai sur la nature de l'air*» (Париж, 1676) и «*Traité du mouvement des eaux et des autres fluides*» (Париж, 1686). В последнем Мариотт впервые рассматривал вопрос о *прочности тел по методу Галилея* и притом с успехом. Он исследовал отношение сопротивления излома к абсолютной крепости в предположении, что волокна тел должны растягиваться перед изломом, тогда как Галилей не принял во внимание этого условия. Мариотт выводит для величины груза P , разламывающего призматический брус длины AB и высоты AC при абсолютной прочности V следующую формулу:

$$P = \frac{1}{3} \frac{AC}{AB} \cdot V$$

Это выражение согласуется с опытом лучше галилеевских правил. Однако впоследствии Я. Бернулли поставил в упрек Мариотту принятое им допущение, что растяжение волокон пропорционально грузу, что не соответствует действительности.

В «*Traite du mouvement*» Мариотт подтвердил многочисленными опытами торичеллиев закон о скоростях истечения жидкостей. Исследовав, далее, *высоту поднятия фонтанов*, он объяснил отставание ее от высоты падения сопротивлением воздуха и трением водяных частиц в вытечном отверстии. Вместе с тем он составил таблицы зависимости высот поднятия от ширины отверстия, причем оказалось, что *высота поднятия возрастает до известной степени с величиной вытечного отверстия*. Мариотт постарался дать ответ и на важный вопрос о *происхождении вод источников*. Он поручил с этой целью одному из своих друзей в Дижоне наблюдать годовую высоту атмосферных осадков и получил от него соответствующую высоту в 17 дюймов. Для большой верности он принял эту величину равной 15 дюймам и, приняв водный бассейн Сены до Парижа равным 3000 кв. миль, он вычислил годовое количество дождя на всю область, которое оказалось равным 714 150 млн. куб. футов. Годовое количество воды, приносимой к Парижу Сеной, составляет всего 105 120 млн. куб. футов, следовательно, меньше $\frac{1}{6}$ части всех атмосферных осадков; поэтому Мариотт присоединяется к мнению Витрувия, что вода источников образуется исключительно из дождей и снега. Но как в свое время Витрувий, так и теперь Мариотт не получил всеобщего признания. *Клод и Пьерр Перро* вернулись к теории Декарта о том, что водяные пары выходят из подземных полостей, и привели соответствующие примеры, где при вскрытии таких полостей из них вырывались пары, а источники в этой местности иссякли. *Вудвард* (1695) считал всю землю шаром, наполненным водой, которая питает источники постоянным испарением. *Седило* (1693 г.) напал на основу марриоттовской теории, именно на расчет атмосферных осадков, и нашел — на основании определенно неверных данных, — что в Англии и Шотландии количество дождя вдвое меньше, чем это необходимо для питания рек. *Галлей* полагал, что сверх дождя и снега питанию источников способствуют пары, приносимые с моря на сушу и сгущающиеся на вершинах гор в воду; наконец, *де-ла Гир*

206 ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ БАРОМЕТРА

(1703) выступил против Мариотта с указанием, что дождевая вода обычно не проникает в землю глубже 2 футов и, следовательно, она не может питать глубоких источников.

В «*Essai sur la nature de l'air*», 1676 г., Мариотт впервые изложил закон, носящий его имя, и доказал его рядом опытов при давлениях больших и меньших атмосферного. Хотя Бойль опубликовал тот же закон в 1662 г., и, стало быть, право первенства открытия не принадлежит Мариотту, но последний, во всяком случае, сумел воспользоваться открытием с большим успехом. На основании тщательных наблюдений Мариотт счел возможным принять, что барометр, показывающий на поверхности земли давление в 28 дюймов, снижается на $\frac{1}{12}$ линии, если его поднять на высоту 5 футов над поверхностью земли. Для *вычисления высоты места по наблюдаемому уровню барометра* он представил себе, далее, воздух разделенным на ряд слоев, причем все они соответствуют $\frac{1}{12}$ линии ртутной высоты, т. е. все одинаково тяжелы и равны по весу ртутному столбику в $\frac{1}{12}$ линии высоты. Вся атмосфера состоит, следовательно, из $28 \cdot 12 \cdot 12$ или 4032 слоев, из которых нижний находится под давлением 4031, следующее затем — под давлением 4030, 4029, 4028 и т. д. двенадцатых линии ртути — вплоть до верхнего слоя, который уже не испытывает никакого давления. При помощи своего закона Мариотт мог вычислить высоты всех этих слоев и таким образом определить высоту места над земной поверхностью, соответствующую любому барометрическому давлению. Обозначив последнюю величину для какого-нибудь места в двенадцатых долях линии буквой h , мы найдем высоту воздушного слоя в данном месте равной

$$\frac{4032}{h} \cdot 5;$$

высоту же H самого места равной

$$\frac{4032}{4032} \cdot 5 + \frac{4032}{4031} \cdot 5 + \frac{4032}{4030} \cdot 5 \dots + \frac{4032}{4032 - (h - 1)} \cdot 5.$$

Мариотт счел суммирование таких рядов слишком утомительным и при своих расчетах брал вместо них арифметические прогрессии, которые по своему первому и последнему члену, а также по числу членов соответствовали этим рядам. Отсюда в его вычислениях произошла первая ошибка; вторая имела своим источником деление атмосферы на слои, равные $\frac{1}{12}$ линии ртути, и принятие давления во всех точках этого сравнительно высокого слоя одинаковым; наконец, и исходное положение, что ртуть опускается на $\frac{1}{12}$ линии при поднятии в воздухе на 5 футов, было неточно. Все эти ошибки были, однако, исправлены лишь постепенно, и долго еще после Мариотта высоты, выведенные из барометрических показаний, плохо согласовывались с результатами прямых измерений. *Изменение показаний барометра на одном и том же месте* Мариотт правильно объяснил воздушными течениями, но полагал, что действие последних заключается лишь в том, что воздушные течения сильнее или слабее направляются сверху вниз и непосредственно давят на ртуть в приборе или же от того, что, притекая из далеких стран и уносясь от земли по касательной, они препятствуют

давлению верхних слоев воздуха. Во Франции, например, северо-восточные и восточно-северо-восточные ветры приносят ясную погоду, так как, дует сверху вниз, они уплотняют воздух, задерживают поднятие незначительных земных испарений и опускание уже поднявшихся и, наконец, потому что на пути из Китая во Францию они не встречают морей. Главнейшими причинами образования ветров Мариотт считает *вращение земли около своей оси*, за которым воздушные слои не могут следовать с достаточной скоростью, а также *нагревание воздуха солнечными лучами и изменение положений луны*. Он производил много опытов с замораживанием воды, представлявшим в то время до известной степени модный вопрос, причем обращал особенное внимание на содержащийся в воде воздух и воздушные пузыри внутри льда, но нового ничего не нашел. В «*Essai du chaud et du froid*», где напечатаны относящиеся сюда исследования, Мариотт успешно защищает теорию, согласно которой холод есть лишь отсутствие тепла. Там же приведены его термометрические исследования глубоких погребов Парижской обсерватории, показавшие, что *погреба отнюдь не бывают зимой теплее, чем летом, но сохраняют почти одинаковую температуру в течение всего года*. Одним из способнейших, хотя и одностороннейших экспериментаторов был Папен, которого можно назвать скорее прожектером изобретателем чем физиком-теоретиком. ДЕНИ ПАПЕН родился в Блуа в 1647 г. и обучался первоначально медицине в Париже. Вскоре, однако, он, вероятно, исключительно занялся физикой, так как в 1673 г. он уже был помощником Гюйгенса. Когда гонения против протестантов во Франции стали усиливаться, Папен, будучи кальвинистом, переселился в 1680 г. в Лондон и здесь был некоторое время ассистентом Бойля. В 1688 г. он стал профессором математики в Марбурге, в 1695 г. переехал в Кассель, а в 1707 г. снова вернулся в Лондон. С этих пор дальнейшая судьба его мало известна. Он умер в Англии в 1712 г.

Первое сочинение Папена «*Nouvelles expériences du vide avec la description des machines servant a les faire*» (Париж, 1674) заключает в себе главным образом описание приборов, служивших при опытах, которые Папен производил совместно с Гюйгенсом, и изложением полученных ими результатов. Самое сочинение посвящено Гюйгенсу. В посвящении Папен говорит: «Опыты эти принадлежат вам, так как почти все они были произведены мною по вашей мысли и по вашим указаниям. Но так, как мне известно, что они служили для вас простым развлечением и что вы едва ли захотели бы верить их бумаге, а тем менее публиковать, то я не боюсь навлечь на себя ваше неудовольствие, приняв на себя их описание». В упомянутом сочинении находится описание *воздушного насоса с тарелкой и цилиндрическим стеклянным приемником*, а также с *барометрическим прибором под последним* для определения степени разрежения воздуха. Во всем остальном воздушный насос представлял полное сходство с бойлевским. Ход от тарелки к поршню закрывался краном, отверстие в поршне вместо металлической пробки закрывалось просто пальцем; доступ воздуха по примеру Герике преграждался водой. Папен определенно приписывает этот аппа-

208 КОТЕЛ ПАПЕНА

рат Гюйгенсу, устроившему его по типу бойлевского воздушного насоса; а из одного письма Гюйгенса Герланд¹ сверх того заключает, что Гюйгенс прибавил тарелку и приемник к воздушному насосу уже в конце 1661 г.

В упомянутом первом сочинении Папена помещено важное наблюдение, что *температура кипения зависит от давления* и что *при низком давлении вода требует значительно меньшего нагревания для кипения, чем при высоком*. Герланд² сверх того приписывает Папену наблюдение, что *сжатый воздух при своем расширении значительно охлаждается*. «Когда кран был открыт и воздух, сжатый в приемнике (в подводном судне), стал выходить в атмосферу, показался густой туман, происхождение которого не могли в то время объяснить ни Папен, ни Гюйгенс». Но если это так, то вряд ли правильно приписывать Папену наблюдение охлаждения воздуха при разрежении, тем более что то же явление было замечено раньше первыми изобретателями воздушного насоса; например Герике, знал, что при разрежении воздуха под колоколом образуются пары. Но *Нолле*³ еще в 1740 г. не находил другого объяснения для образования паров в подобных случаях, как в соединении разнородных частиц, находящихся в воздухе. Повышением температуры кипения под высоким давлением Папен воспользовался в очень скором времени. В книге «*A new digester of softening bones containing the description of its make and use in cookery*» (Лондон, 1691)⁴ он описал устройство котла, известного под его именем. Котел этот имеет ту важную особенность, что он снабжен предохранительным клапаном, а именно рычажным клапаном с перемещающимся противовесом. Папенов клапан был впоследствии принят без изменения для котлов паровых машин.

После того как Папен поработал в 1681—1682 гг. в Лондоне совместно с Бойлем, последний опубликовал полученные ими результаты во втором прибавлении к своим «*New experiments*» под заглавием: «*A continuation of new experiments physico-mechanical touching the spring and weight of the air*» (Лондон, 1682)⁵. Папен со своей стороны сделал то же несколько лет спустя в прибавлении к своему трактату о котле, под заглавием: «*A continuation of the new digester of bones*» (Лондон, 1687), и о том же вопросе появилась статья Папена в «*Acta eruditorum*» (1687).

Трудно сказать, кому из двух ученых принадлежит первенство открытий, описанных в этих работах, но при отсутствии каких-либо на этот счет сведений этот вопрос следует разрешить скорее в пользу молодого Папена. Воздушный насос, описанный здесь, имеет, кроме тарелки еще и другое важное усовершенствование, именно перепончатый клапан взамен крана. Цилиндр, как вообще в насосах Бойля, рас-

¹ «Wiedemann's Annalen», II, 665—670.

² «Licht und Wärme», Leipzig 1883, стр. 245.

³ *Fischer*. «Gesch. d. Physik.», IV, стр. 232—235.

⁴ По-французски книга озаглавлена: „La maniere d'amolir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et á peu de frais" (Париж, 1682).

⁵ Первое прибавление под тем же заглавием появилось уже в 1669 г.

ВОЗДУШНЫЙ НАСОС С КЛАПАНАМИ 209

положен снизу, но поршень приводится в движение не зубчатый приспособлением, а педалью, что, конечно, не представляет улучшения¹.

Приблизительно в то же время *Кристоф Штурм* устроил воздушный насос с клапанами и описал его в своем «*Collegium experimental*» (Нюрнберг, 1676—1685). У него клапаны конические, один на дне цилиндра, другой в поршне². Воздушный насос с кранами можно было употреблять как для разрежения, так и для сгущения воздуха. Но когда начали строить воздушные насосы с клапанами, пришлось конструировать особые нагнетательные насосы. Подобный прибор, вполне сходный с применяемыми в настоящее время насосами, т. е. такой, где в основании поршня клапан открывается внутрь, а в верхней крышке цилиндра находится отверстие, описан Бойлем в упомянутом сочинении.

Говорят, что Бойль или Гук³ устроили насос с двумя цилиндрами, но удобный для работы вид ему придал *Гауксби*. Последний описал подобный насос в своем «*Course of mechanical, optical, hydrostatical and pneumatical instruments*» (Лондон, 1709). В этом насосе было по одному клапану в каждом поршне и по одному клапану на дне каждого цилиндра.

Насосы с кранами получили, наконец, другое важное видоизменение. Голландец *Волферт Сенгверд* (1646—1724) в своей «*Philosophia naturalis*» (Лейден, 1685) описал прибор совершенно нового устройства, изобретенный им еще в 1675 г., но сконструированный впервые в 1679 г. Цилиндр здесь лежит наклонно, клапанов вовсе нет; их место заступает единственный кран, известный двухходовой кран Сенгверда. Насосы этой формы распространились очень быстро и имели особенный успех в Германии, где их изготовлял лейпцигский механик Леопольд⁴.

Около середины 80-х годов XVII столетия были достигнуты значительные улучшения в устройстве *МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ*, хотя до совершенства не удалось еще довести ни одного из них. Упомянутый выше альтдорфский профессор *И. Кристоф Штурм* (1635—1703), в своем «*Collegium experimentale sive curiosum*» описал уже *дифференциальный термометр*, изобретателем которого обыкновенно считается *Лесли*. *Вильям Молине* (1656—1698, богатый дублинец) предложил в «*Phil. transactions*» новый *гигрометр*. Последний состоял из пенькового шнурка около 4 футов длины, к нижнему концу которого была прикреплена фунтовая гиря с показателем. Штурм устроил гигрометр с горизонтальным деревянным диском и отвесной кишечной струной, с показателем наверху. *Даленсе* описал в «*Traite des baromètres, thermomètres et hygromètres*» (Амстердам, 1688) прибор, состоящий из бумажной или кожаной полоски, слабо

¹ *Poggendorf*, «*Gesch. d. Physik.*», стр. 473.

² *Gerland*, *Ber. üb. d. wissenschaftl. Apparate a. d. Londoner Ausstell. von. 1876*, стр. 39.

³ *Bericht üb. d. wissenschaftl. Apparate*, стр. 39; *Fischer*, «*Gesch. d. Physik.*», II стр. 449.

⁴ Подобный насос, изготовленный Леопольдом для Христофора Вольфа, находится в Марбурге; другой леопольдовский насос — в Дрездене.

210 ГИГРОМЕТР. ТЕРМОМЕТР. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

натянутой между двумя медными столбиками, посередине которой подвешен груз. Еще другие, например *Бойль*, употребляли в виде гигрометра губку, пропитанную гигроскопическим веществом (раствором нашатыря) и уравновешенную на весах гириями. Все эти приборы были до известной степени пригодны и, вероятно, точнее флорентийского сгустительного гигрометра¹, где едва удавалось собирать в измерительный сосуд всю сгущенную влагу; однако для всех них оставалась недоказанной принятая пропорциональность между изменениями показаний гигрометра и увеличением атмосферной влажности; во всяком случае, показания различных приборов были несравнимы между собой.

К достижению последнего условия усердно стремились и при устройстве термометра, стараясь найти постоянные точки для деления; но здесь успех пока еще не соответствовал усилиям. В упомянутом выше сочинении Даленсе предложил, сверх известной уже флорентийцам постоянной точки таяния льда, принять еще температуру плавления коровьего масла в качестве второй постоянной точки шкалы; но это предложение, как и другое, сделанное в том же направлении, не могло быть принято по легко понятным причинам. *Галлей* около этого времени тоже занимался устройством термометров; впрочем, и ему не удалось придти к целесообразному делению, хотя ему было известно постоянство точки кипения воды. Для сравнения он наполнил свои термометры ртутью и спиртом. Он пришел к заключению, что спирт вследствие большого расширения пригоднее для термометров, чем ртуть, и предложил взять точку кипения спирта в качестве высшей точки, а температуру глубоких погребов — в качестве низшей точки деления термометрической шкалы. Его предложение могло способствовать усовершенствованию термометра не больше других. Хотя *Галлей* утверждает, что постоянство точки кипения жидкостей было ему известно уже в мае 1688 г., но наблюдения свои он напечатал только в 1693 г. в «*Phil. transactions*» под заглавием «*An account of several experiments made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids by heat and cold in order to ascertain the divisions of the thermometer*».

Стремление к улучшению метеорологических приборов совпало с более *регулярными и определенными метеорологическими наблюдениями*. *Флорентийские академики*, начиная с 1654 г., из года в год наблюдали свои термометры и барометры; *Пикар* производил отдельные наблюдения с 1666 г.; *Седило* (ум. в 1693 г., член Парижской академии) производил систематические наблюдения с 1688 г. до своей смерти. Особенный интерес возбуждали *дождеизмерители* вследствие споров о происхождении источников. Начатые по инициативе *Мариотта* измерения дождевых осадков ревностно производились *Седило* во Франции и *Ричардом Тоунлеем* в Англии. Последний производил наблюдения в Ланкастершире с 1677 по 1693 г.; *Дергам, де-ла-Гир, Алльгевер* в Ульме и др. долгое время производили подобные же измерения, не придя, однако, к каким-либо теоретическим выводам.

¹ См. выше, стр. 171.

ГАЛЛЕЙ. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ ПРИ ПОМОЩИ БАРОМЕТРА 211

Дождеизмерители состояли из разнообразных по форме приемников, из которых вода стекала в замкнутые резервуары, чтобы по возможности уменьшить испарение воды до момента измерения. Спорили весьма оживленно, не приходя, однако, к окончательному решению, по вопросу о том, следует ли определять количество дождя по объему или же по весу.

Мыслью о применении барометра для измерения высот занялся вскоре после Мариотта ГАЛЛЕЙ, который в 1686 г. представил Королевскому обществу работу на эту тему под заглавием: «*A discourse of the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometer, according as the places are elevated above the surface of the earth*».

Он тоже представлял себе воздух разделенным на слои одинакового веса и, подобно Мариотту, вывел отсюда заключение, что разности высот мест наблюдения пропорциональны разностям логарифмов соответственных барометрических высот. Удельный вес ртути он принял в $13\frac{1}{2}$, удельный вес воздуха в $\frac{1}{800}$, высоту барометра у моря в 30 англ. дюймов и отсюда вывел правило: для определения высоты данного места над уровнем моря (в английских футах) следует логарифм наблюдаемой барометрической высоты (которую мы обозначим через α) вычесть из логарифма 30, умножить полученную разность на 900 и произведение разделить на 0,0144765. Другими словами, высота над морским уровнем равна $(\lg 30 - \lg \alpha) \cdot 900 / 0,0144765$ английским футам. Эта, по существу, и теперь еще применяемая формула, которой недостает только поправки на температуру и более точного определения постоянных, не привлекла к себе должного внимания во времена Галлея. Делюк (1772) и затем Лаплас ввели ее в общее употребление в исправленном виде. Следует, однако, отметить, что в то время и самые барометры были еще мало пригодны для точных измерений. Делюк устранил и эти недостатки. Колебания барометра в одном и том же месте Галлей, подобно Мариотту, объяснял действием ветров. Регулярные ветры жаркого пояса, пассаты, он совершенно правильно относил за счет сильного нагревания воздуха у экватора, вследствие чего воздух поднимается и перетекает в направлении к полюсам, а с другой стороны нижние слои воздуха передвигаются от полюсов к экватору. Что касается отклонения пассатов к востоку и западу, то он не мог определить действительных причин этого явления.

Эдмунд Галлей, о котором нам уже много раз приходилось и еще придется упоминать, родился 29 октября 1655 г. в Гаггерстоне близ Лондона, отправился в 1676 г. на остров св. Елены для составления каталога неподвижных звезд южного полушария и наблюдал здесь, подобно Нише в Кайенне, изменение длины секундного маятника, не придавая, однако, этому явлению особого значения. В 1678 г. он стал членом Королевского общества наук, в 1703 г. — профессором геометрии в Оксфорде, а в 1720 г. — директором обсерватории в Гринвиче. Здесь он и умер 14 января 1742 г.

Из своего путешествия в Каттегат Пикар привез с собой в Париж молодого датского ученого ОЛАФА РЕМЕРА, который очень скоро

212 РЕМЕР. СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА

оправдал честь избрания его в члены Парижской академии важным физико-астрономическим открытием. Наблюдая вместе с директором вновь построенной Парижской обсерватории *Кассини затмения спутников Юпитера*, он заметил, что если для первого из них вычислить по затмению во время противостояния Юпитера моменты будущих затмений, то с удалением Юпитера от земли затмение в действительности всегда запаздывает против вычисленного. Запаздывание постепенно возрастало до соединения Юпитера, достигая в это время 1000 секунд, а затем равномерно уменьшалось до нуля. Ремер объяснил это запаздывание *конечной скоростью света*. А так как во время соединения Юпитер находится на 40 миллионов миль дальше от земли, чем при противостоянии, то он вывел отсюда заключение, что *свет пробегает 40 миллионов миль в 1000 секунд*, или *около 40 000 миль в одну секунду*. Кассини был вначале того же мнения, но впоследствии отступил от него ввиду того, что прочие спутники Юпитера не представляют подобных запаздываний, и стал склоняться к тому, чтобы объяснить это явление неправильностями движения планеты. Ремер же упорно настаивал на своем, стараясь опровергнуть доводы Кассини указанием на недостаточность наблюдений над прочими спутниками. Картезианцы того времени отнеслись весьма недружелюбно к аргументам против мгновенного распространения света и принялись возражать с принципиальной точки зрения. Однако мнение Ремера одержало блестящую победу, когда предположение о конечной скорости распространения света получило подтверждение еще с другой стороны. Замечательный астроном и будущий директор Гринвичской обсерватории *Джемс Брайлей* (1692—1772), подобно многим астрономам до него, пытался определить *параллакс неподвижных звезд*, который должен получаться в результате годичного движения земли. Когда же параллакс был им, по-видимому, найден, он заметил, что явление это не может быть объяснено одним годичным движением земли¹, и затем в 1728 г. установил, что величина его зависит исключительно от скорости света и скорости поступательного движения земли.

Из величины отклонения неподвижных звезд он вывел заключение, что *скорость распространения света в 10 000 раз больше скорости движения земли по ее орбите* — результат вполне согласный с ремеровским.

Ремер, принимавший в Париже деятельное участие во многих физических измерениях вместе с Пикаром, Гюйгенсом и Кассини, вернулся в 1681 г. в Копенгаген, где сделался профессором математики и много занимался наблюдениями над неподвижными звездами до 1705 г., когда новые занятия в звании копенгагенского бургомистра почти совсем отвлекли его от научных работ. Он умер в 1710 г., т. е. раньше, чем его важнейшее физическое открытие нашло подтверждение в исследованиях Брайля и вместе с тем получило всеобщее признание.

¹ „Account of a new discovered motion of the fixed stars", (Phil. Trans, 1728).

III. ПЕРИОД ПРЕОБЛАДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ.

(Приблизительно от 1690 до 1750 г.)

Переворот, произведенный в математических науках в конце XVII в. открытием анализа бесконечно-малых, отразился вскоре на всей области физики. Нам, к счастью, не приходится разбираться в двухсотлетнем споре о том, сделано ли Лейбницем его открытие независимо от Ньютона и представляет ли дифференциальное исчисление Лейбница нечто совершенно отличное от ньютоновской теории флюксий. Мы можем, поэтому ограничиться замечанием, что Лейбниц в 1684 г. обнаружил свое дифференциальное исчисление в форме наброска, а Ньютон в 1687 г. опубликовал свое флюксионное исчисление в столь же несовершенном виде. Но оба они, очевидно, гораздо раньше начали разработку этого вопроса, причем в этом отношении Ньютон, во всяком случае, опередил Лейбница; с другой стороны, наименование и бесконечно важный для дальнейшего развития способ обозначения, бесспорно, принадлежат Лейбницу. Математика этого периода, несомненно, обязана своим поразительно быстрым развитием Лейбницу и его великим последователям Бернулли, тогда как развитие математической физики принадлежит Ньютону и шло впоследствии в принятом им направлении.

В своих «*Математических началах натуральной философии*» Ньютон создал руководство по математической физике столь высокого стиля, до которого раньше него никто и не пытался подняться. Уже одно существование такого творения, обнимающего собой все отрасли математической физики, строящего ее с самого основания и доводящего ее до крайних вершин развития, должно было вызвать усиленное внимание к этой отрасли науки и привлечь к ней свежие научные силы. А то обстоятельство, что математика в это самое время *приобрела новое орудие для решения труднейших задач с изумительной легкостью, пользуясь удобным и всегда одинаково применимым методом*, доставило математической физике такое решительное преобладание, три котором другим отраслям нашей науки не скоро удалось заявить свои права. Наиболее выдающиеся представители естественных наук обратились к новому математическому исчислению, обещавшему вернуть славу; некоторые из ученых того времени, чтимых нами

214 ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

теперь в качестве представителей математического анализа, были до нового открытия ревностными экспериментаторами и только после него покинули прежний путь. Вот почему в этом периоде нам приходится искать наиболее талантливых людей и наибольшие научные достижения в области математической физики, а в области экспериментальной мы находим мало живых сил. Однако для трудолюбивых, добросовестных исследователей находятся и здесь благодарные темы, а потому и эта область вообще заглухнуть не может; мы видим тому примеры даже в эпоху наибольшего увлечения математикой. Так *совершенствование метеорологических инструментов* деятельно продолжается и приводит, наконец, к устройству *сравнимых между собой термометров*; *акустические исследования* тоже дают хорошие результаты; интересы мореплавания вызывают *точные наблюдения над магнитной стрелкой*; *конструкция часов* значительно совершенствуется; постепенно увеличивается количество *наблюдений в области электричества*. Наконец, настоящему периоду принадлежит *изобретение паровых машин*. Это достижение техники могло бы до известной степени уравновесить заслуги математической физики, если бы важность открытия не оставалась непризнанной в течение столь продолжительного времени и паровой машине не пришлось бы так долго ждать самых необходимых усовершенствований.

Особенно характерен для рассматриваемого периода союз, заключенный между изобретательским талантом экспериментаторов и механико-математическими науками, для устройства механических или механико-акустических игрушек, а равно и пристрастие всего XVIII в. к говорящим машинам, автоматам и тому подобным произведениям механического искусства. Широкая публика, положим, во все времена была весьма падка к чудесам науки, но тот факт, что привлекавшие ее чудеса были преимущественно механического свойства, служит новым признаком преобладания математических и механических интересов. От средних веков до нас дошло очень мало сведений об устройстве автоматов; известны только имена их изобретателей, каковы: *Роджер Бэкон, Альберт Великий Региомонтан*. Начиная же со второй половины XVII столетия, известия о таких произведениях механического искусства постепенно умножаются, а XVIII столетие имеет в этом отношении наибольшие достижения, сохранившиеся до настоящего времени. *Жак Вокансон (1709—1782)* изобрел в 1783 г. своего знаменитого *флейтиста*, который играл на флейте, приводя в движение клапаны пальцами; в 1741 г. появилась его не менее знаменитая *утка*, которая махала крыльями, наклонялась и вытягивала шею, кричала, пила, глотала зерна и, наконец, извергала род экскрементов. Этими и другими механическими фокусами Вокансон приобрел громкую известность; даже Парижская академия подвергла испытанию его автоматы и разрешила опубликование их описания; кроме того, он получил в 1741 г. место королевского инспектора шелковых мануфактур. После Вокансона

изготовлением автоматов прославились оба *Проза* (отец и сын) из Шо-де-Фон. Рассказывали об изобретенном ими искусственном ребенке, *который писал связно французские слова* (1777), о *пианисте, рисовальщице* и т. д. Знаменитая шахматная машина *Вольфганга фон-Кемпелена* (1734—1804) демонстрировалась перед публикой с 1769 или 1771 г. Сначала даже выдающиеся люди, например, Гинденбург, считали ее чисто механическим произведением; позднее же стали подозревать, что в ней был спрятан мальчик. Тайна так и осталась неразгаданной; что же касается изобретенной тем же лицом пишущей машины, то ее конструкция была им самим описана в 1791 г.

С этим пристрастием к механическим фокусам связаны также попытки устройства *perpetuum mobile*, т. е. такой машины, которая, будучи приведена однажды в движение, была бы способна сама собой, без применения внешних сил, поддерживать его до бесконечности. Трудно решить, когда именно возникла мысль о таком механизме; по-видимому, ее следует отнести к половине XVII столетия. *К. Шомм* («*Technica curiosa*», 1664), и *Фр. де-Ланис* («*Magisterium naturae et artis*», 1684) дают смутные намеки на нечто подобное; но лишь в конце XVII в. встречаются более частые сведения об этом. В «*Journal des savants*» с 1678 г. помещаются многочисленные проекты устройства вечно движущейся машины. *Папен, Дезагюлье, Христиан Вольф* не отрицают ее возможности; с другой стороны. *Штурм, Паран* и др. прямо заявляют о невозможности таких машин, а *де-ля-Гир* пробует наглядно это доказать. Знаменитейший *perpetuum mobile* был устроен *Оффиреусом* в 1715 г.; он состоял из колеса, автоматически продолжавшего свое вращательное движение на своей оси, после того, как его однажды приводили в движение с известной скоростью. *С' Гравезанд, Фр. Гофман* и *Вольф* не могли обнаружить здесь никакого обмана. Когда же первый проявил при исследовании слишком большое любопытство, изобретатель разбил свой аппарат, как уверял он сам, — от досады вследствие такого отношения к его произведению, как утверждали другие, — из боязни раскрытия обмана. Позднее появлялись разные искусственные машины со скрытыми двигателями, долго вводившие в обман ученых; тем не менее, Парижская академия только в 1775 г. постановила впредь не принимать на рассмотрение никаких аппаратов, выдаваемых за вечные двигатели. Воззрения же широкой публики на этот предмет долго оставались темными. Когда в 1790 г. механик Гейне (из Лемзала в Лифляндии) изобрел так называемую сухую мельницу, которая сама собой приводила в движение насосы, накачивавшие воду на ее колеса, эта мельница долго служила предметом удивления и восторженных описаний¹.

Наиболее обездоленной оказалась в этом периоде *натурфилософия*, т. е. чисто умозрительное исследование явлений природы. *Дух времени и авторитет одного человека, Ньютона, пресекали ее*

¹ *Рорре*, «*Gesch. d. Technologie*», I, стр. 175.

существование на много лет. Основы, данные науке Ньютоном, служат доказательством того, что он располагал всеми данными для исследования сущности явлений, вслед за оценкой их количественных отношений. Но задача, которую он поставил себе, — установление основ математической физики, — вместе с односторонним направлением его физико-математического гения, а быть может, также оппозиция против своего противника по естественной истории Декарта, и, наконец, нападки со стороны преемников и последователей французского философа, побудили Ньютона преднамеренно исключить из споров всякие рассуждения о сущности явлений и строго придерживаться математических отношений. «Я гипотез не строю», восклицает Ньютон с некоторой напыщенностью; и, несмотря на то, что он сам, преимущественно в «Оптике», отдал немалую дань гипотетическим предположениям, его ученики приняли эти слова за аксиому, которая должна быть положена в основу всякого исследования природы. А так как с течением времени все физики сделались более или менее последователями Ньютона, то к гипотезам стали относиться пренебрежительно и устранили их из физики в большей степени, чем это следовало бы сделать в интересах правильного развития науки. В сущности, *дух английского естествознания стремился к уничтожению гипотез уже со времени Бэкона Веруламского.* У нас было не много случаев, когда можно было указать прямое влияние Бэкона на физику; но его индуктивный метод, исключавший всякое теоретизирование, несомненно, отразился как на экспериментаторе Бойле, так и на математике Ньюtone. Старая натурфилософия, бесспорно, злоупотребляла гипотезой; даже Декарт не составлял в этом отношении исключения. Теперь же определилось намерение уничтожить это вредное орудие; а так как натурфилософия была немислима без предположений и умозаключений, то ее-то и приходилось, прежде всего, остерегаться. Натурфилософия со своей стороны оказалась тем менее подготовленной к такому отпору, что ее *собственная совесть в этом отношении была не совсем спокойна и что ей все более приходилось уделять внимания: проблемам теории познания.* Все эти причины, вместе взятые, пресекли существование натурфилософии на целое последующее столетие; да и до настоящего времени можно видеть с ее стороны лишь попытки встать на ноги, а не настоящую жизнь.

Итак, ньютоновская школа сознательно исключила гипотезу, а вместе с нею и дедуктивную философию из физики и решила допускать в ней только эмпирический и математический методы. В предисловии к переводу ньютоновской «Оптики»¹ Самуил Кларк высказывается на этот счет весьма определенно: «Кто при исследовании природы не желает запутаться в величайших заблуждениях и придти к самым превратным понятиям, тот не должен искать опоры в вымышленных гипотезах и праздных предположениях, а основываться единственно на математических рас-

¹ Optice, lat, redd. Sam. Clarke, Lausanne, 1740, стр. VIII.

ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ 217

четах или на отчетливых и достоверных опытах». Собственно говоря, Ньютону нельзя ставить в упрек, что он тщательно отделял математические результаты и выводы от философских умозрений. *В науке не должно существовать ни малейшей неясности насчет того, что вытекает из данной гипотезы и требует еще опытных доказательств, и того, что верно при любых условиях без всяких гипотетических предположений.* С другой стороны, стоит только вспомнить об отношении физики и химии к современной нам атомистике и теории эфира, чтобы убедиться, *насколько успех естествознания, по крайней мере, в некоторых отношениях, тесно связан с гипотезой и дедукцией из гипотетических положений.* Наконец, исключение натурфилософии из области физики замедлило и даже остановило некоторые стороны развития последней в большей степени, чем принято думать. *Самостоятельная натурфилософия, без опытных и математических основ, в качестве реальной науки невозможна, — в этом убеждает нас весь ход истории. Но и чистая эмпирика без философской подготовки, без философской науки, ставящей себе общие цели, может в лучшем случае дать лишь набор сведений, а в худшем — так как полное отрешение от гипотез немыслимо — она столь же легко может попасть в туманные области, как и чистая натурфилософия.*

*При таком решительном перевороте в естественных науках невольно останавливает на себе внимание отношение к нему настоящих философов. Английская философия, правда, не имела причин быть недовольной ходом вещей; вместе с Френсисом Бэконом она отреклась от гипотез, постепенно ограничила свою сферу проблемами теории познания и еще в разбираемом периоде достигла кульминационного пункта в скептицизме Юма, который можно было связать, с физическими воззрениями Ньютона. Давид Юм (1711—1776), в своем главном философском сочинении «*Enquiry concerning human understanding*» (Лондон, 1748) отвергал всякую возможность познания необходимой причинной связи вещей. Понятие действия не включает к себе понятия причины; узнать причинную связь нельзя, потому что мы вообще видим факты, а не их связь; поэтому мы называем причиной и действием такие явления, которые мы очень часто наблюдаем происходящими в определенной временной последовательности. С этой точки зрения ньютоновский взгляд на всеобщее тяготение как на непосредственное взаимодействие тел на расстоянии оказывается вполне правильным: мы видим, что все тела стремятся друг к другу, если не встречают препятствия, но не видим никакого явления, которое предшествовало бы этому движению и которое могло бы быть признано причиной всеобщего тяготения; поэтому совершенно недопустимо распространяться о какой-либо дальнейшей *causa gravitatis*.*

Но подобно английским, *французские и немецкие философы по низложению своего вождя Декарта тоже прекратили всякие дальнейшие нападки на новую физическую школу; дедуктивная*

218 ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

философия в свою очередь оставила мало-помалу область физики. И здесь основной причиной явилось возникновение *трудностей теоретико-познавательного характера*. Как раз со времени Декарта и проведенного им отделения понятия о силе от понятия о материи философы пытались и должны были пытаться каким-либо образом выяснить взаимодействие между духом и телом. Гейлинкс и Мальбрэнхи пробовали дополнить своего учителя с этой стороны. Но раз философия принялась за изучение взаимодействия между духом и телом, взаимодействие материальных тел между собой естественно становилось в ее глазах задачей незначительной и второстепенной, с решением которой всегда можно было поспеть, после того как будет разрешен первый вопрос. Допущение присутствия в материи силы, одухотворяющей и ее в известной степени, казалось тогда философам даже более приемлемым, чем декартовское определение материи; что же касается возможности непосредственного действия такой силы на расстоянии, то это был вопрос, о котором физики могли спорить сколько им было угодно, философу же предстояло решить более важные вопросы.

Таким-то образом Лейбниц, разделявший вначале картезианские воззрения, из теоретико-познавательных соображений, а также с целью объяснить взаимодействие между телом и духом пришел к своей *монадологии*, которая в противоположность Декарту определяла материю через понятие силы. Тем не менее, теория монад заключала в себе так мало естественнонаучных и математических элементов, что едва ли она могла иметь какое-либо влияние на физику. Преемник Лейбница в области философии Христиан Вольф (1679—1754), хотя и был по своей специальности физиком и принимал участие в очень многих опытных исследованиях, но как в философии, так и здесь не проявил творческого ума; его воззрения интересны только как свидетельство о том, как близко философия того времени была знакома с результатами физико-математических исследований и как много она пассивно от них восприняла.

По Вольфу физический мир состоит из протяженных тел, обладающих формой и величиной, известным количеством инерции и определенным количеством двигательной силы. Эти физические тела составлены из элементов или атомов (*atomi naturae*), которые вызывают и инерцию, и двигательную силу, но каким образом это происходит, нам не известно, потому что мы ничего не знаем о свойствах этих простых элементов.

Из родственных физике наук определенные успехи сделала химия, которая впоследствии благодаря развитию атомистики сильно повлияла на физику. Но теперь именно в этом периоде она напала на мысль, весьма неблагоприятную для своего дальнейшего развития. Правда, при помощи этой мысли химии удалось соединить в одно общее понятие горение и окисление металлов, приняв, что в обоих случаях из горящих или окисляющихся тел освобождается особое вещество, или начало горения, *флоги-*

ПРЕОБЛАДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ 219

стон; но подобная мысль была, очевидно, возможна только при полном пренебрежении к исследованию весовых отношений веществ. А пока была оставлена без внимания эта сторона химических явлений, науке недоставало вернейшей опоры для развития новой атомистики. Химия в этом периоде приобрела характер систематической теоретической науки, и только впоследствии, когда она научилась определять соединения не с одной только качественной, но и с количественной стороны, она могла вступить в более близкое и плодотворное взаимодействие с физикой.

Астрономия, напротив, все более и более отделялась от физики. Могучее вспомогательное средство, данное ей Ньютоном в законе всеобщего тяготения, равно как и непрерывные успехи математики, позволили развить теорию движения небесных тел с недостижимой для прежних поколений полнотой и определять наперед положение светил с поразительной точностью. Но вместе с тем астрономам приходилось отдавать все свои силы исключительно этой науке. Лишь в немногих отдельных случаях, например при определении скорости распространения света, при изобретении ахроматических телескопов и при развитии фотометрии, физика и астрономия продолжали оказывать друг другу взаимные услуги.

Распространение наук в Европе, в общем, не претерпело изменения. Англия, Германия, Франция составляли блестящий умственный триумvirат в физике. Италия, Испания. Скандинавские государства давали отдельных представителей, а Россия давала — по крайней мере, иностранным ученым — материальные средства для научных исследований на ее территории. Организация естественнонаучных академий деятельно продолжалась. Владетели больших и малых государств охотно тянулись за титулом покровителей наук и покровительство науке стало предметом моды. *Берлинская королевская академия наук* была основана в 1700 г. Фридрихом I по предложению Лейбница и преобразована в 1743 г. Фридрихом II. Лейбниц, а после него Вольф организовали и *Петербургскую академию наук* (1725). *Мюнхенская академия* была учреждена в 1759 г., *Королевское общество наук в Геттингене* возникло в 1750 г., *Эрфуртская академия* — в 1754 г., *Яблоновское общество* (с 1846 г. переименованное в *Королевское общество наук в Лейпциге*) в 1766 г. В Швеции были учреждены академии: в 1725 г. — в *Упсале*, а в 1739 г. — в *Стокгольме*; Дания учредила *Копенгагенскую академию* в 1743 г. В Италии насчитывалось множество мелких академий; из них для физики имеют значение только *Болонская* (1712) и *Туринская* (1760). *Голландское общество наук в Гарлеме* было открыто в 1752 г. *Анналы Швейцарского общества естественных наук* начали выходить в 1765 г. В Америке организация, созданная в 1728 г. Франклином соединилась с основанным в 1744 г. Американским обществом наук в одно ученое учреждение (1769), *American Philosophical Society of Philadelphia*, которое с 1771 г. начало издавать свои труды.

220 ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЬЮТОНОВОЙ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

Мы прервали жизнеописание *Ньютона* на том времени, когда он сделался профессором в Кембридже и был занят по преимуществу оптическими исследованиями. Последние были временно оставлены им около 1676 г. для механических вопросов, все более и более привлекавших его внимание. Ньютон указывает в письме к Галлею (14 июля 1686), что мысль об уменьшении тяжести пропорционально квадрату расстояния возникла у него приблизительно *за 20 лет до того*; то был, следовательно, 1666 г.; и всем известный анекдот об упавшем яблоке, наведшем будто бы Ньютона на его великую мысль ¹, относится именно к этому году. Правильнее было бы, конечно, вспомнить, что именно в 1666 г. Борелли пытался объяснить движение планет притягательной силой солнца и начальной скоростью, и что Гук к тому же году относит свои первые соображения относительно притяжения. Сам Ньютон признает заслуги Борелли в письме к Галлею (от 20 июня 1686) и даже упоминает, что уже Буллиальд (*«Astronomia philolaica»*, 1645) указывал на притягательную силу солнца, уменьшающуюся в прямом отношении к расстоянию. *Ньютон оставляет за собою только точное математическое доказательство того, что подобная сила действительно управляет движением планет, и установление тождества этой силы с земной тяжестью.* В указанных двух пунктах заключается, собственно говоря, основное значение всей теории. Насколько было легко, например, по аналогии с уменьшением силы света высказать предположение об уменьшении притяжения соответственно квадрату расстояния, настолько же было трудно вывести из этого положения эллиптические пути планет и движения небесных светил, равно как доказать тождество этого притяжения с силой тяжести.

В идее о тождестве силы тяжести и всеобщего тяготения Ньютон не имел никаких предшественников, и по-видимому, именно эта мысль послужила основой всей его системы. Правда, уже давно начали объяснять тяжесть земных тел совокупным действием всех частей земли и даже распространили это влияние до самой луны ², но понятие о тяжести как стремлении однородного к соединению, не препятствовало тому, чтобы резко отличать силу земной тяжести, даже распространенной на однородную с нею луну, от действия притягательной силы солнца на планеты. Джон Робайсон (1739—1805), бывший с 1774 г. профессором физики в Эдинбурге, утверждает, что Ньютон еще в 1666 г. начал свои вычисления падения луны. Сам Ньютон указывает, по крайней мере, в упомянутом выше письме к Галлею (20 июня 1686), что в 1673 г., когда Гюйгенс прислал ему свой *«Horologium oscillatorium»*, он сообщил голландскому ученому о своем открытии действия земли на луну и указал на пользу гюйгенсовых законов (центробежной силы) для вычисления этого действия. Ньютон, следовательно, принимал, что земная тяжесть распространяется до луны и притом уменьшается

¹ Pemberton, View of, Newton's philosophy, 1728; Voltaire, Elements de la philosophie de Newton, 1738.

² Предположением одинаковой тяжести на земле и луне пользовались Кеплер, Кирхер, Валлис и др. для объяснения приливов и отливов. Мысль о всеобщем притяжении всех однородных материй встречается также у Ферма и Роберваля.

ПАДЕНИЕ ЛУНЫ НА ЗЕМЛЮ. УКЛОНЕНИЕ ПАДАЮЩИХ ТЕЛ 221

в квадратном отношении. Отсюда он вычислил, что путь падения луны в первую минуту должен быть немного больше 15 футов. Но луна не падает на землю по прямой линии, так как присущая ей скорость постоянно стремится двигать ее дальше по касательной к ее орбите. Притяжение земли в состоянии только постоянно отклонять ее от движения по касательной, при котором она бесконечно удалилась бы от земли, и возвращать ее на эллиптическую орбиту. Если же это притяжение тождественно с тяготением, то расстояние, на которое луна отклоняется от касательной в направлении к земле, должно быть в каждую минуту несколько больше 15 футов. Ньютон, однако, при вполне точных исчислениях получал последнюю величину равной только 13 футам, и этой разницы было достаточно, чтобы заставить его признавать свою мысль несостоятельной до тех пор, пока в июне 1682 г. на одном из заседаний Королевского общества не были сообщены результаты нового измерения земной окружности, произведенного Пикаром. Измерение это дало гораздо более точное определение земного радиуса, благодаря чему могло быть точнее вычислено и расстояние луны, всегда относимое к земному радиусу. Когда после сообщения Ньютон попробовал ввести исправленные величины в свои расчеты, он нашел согласие между путем падения луны и величиной отклонения ее от касательной в каждую минуту, т. е. нашел их равными 15 футам с небольшим. Тут только он убедился в правильности своей мысли о распространении земной тяжести, по меньшей мере, до луны и с новой энергией принялся за дальнейшие вычисления. Так повествует Робайсон («*Mechanical Philosophy*», 1822), с которым согласен и Био («*Bibliographic universelle*). Между тем, этот рассказ представляет некоторые неточности, по крайней мере, в отношении времени. Именно, результаты градусного измерения Пикара были напечатаны в «*Philosophical transactions*» уже в 1675 г., и с этого времени, конечно, стали известны всем членам Королевского общества¹.

В связи с изучением возмущений небесных тел стояли работы о *траектории свободно падающих тел на вращающейся земле*. В ноябре 1679 г. Ньютон писал Гуку, бывшему тогда секретарем Королевского общества, *об уклонениях свободно падающих тел от отвесной линии*. Прежде утверждали, что падающие тела должны отставать от вращающейся земли и, будучи, например, брошены с вершины башни, должны падать к западу от ее основания. Теперь же Ньютон заявил: *так как вершина башни имеет бо'льшую скорость вращения, чем основание, то тела, падающие с вершины, сохраняя во время падения бо'льшую вращательную скорость, должны опережать землю и падать к востоку от основания башни*. В упомянутом письме Ньютон предлагает произвести опыты падения тел с тем, чтобы по наблюдаемым отклонениям к востоку непосредственно констатировать вращение земли. Сначала Гук ответил уклончиво, критикуя предложение на словах, но когда его вынудили выполнить лежавшую на нем обязанность, он произвел требуемые опыты с высоты всего в 27 футов и, конечно, не мог констатировать какого-либо уклонения к востоку. В то время Гук из-за оптиче-

¹ Whewell, History, 3 ed., II, стр. 124.

222 СОДЕРЖАНИЕ „PRINCIPIA“. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ских вопросов был уже в скверных отношениях с Ньютоном, и вскоре они приняли еще более резкий характер.

Подобно Гуку и Ньютону, механикой небесных движений занимались в то время еще *Галлей* и *Врен*. Из третьего закона Кеплера Галлей сделал вывод, что притяжение солнца должно убывать пропорционально квадрату расстояния, и занялся определением пути планет, исходя из этого закона; но задача эта представляла с математической стороны такие трудности, которых он не мог преодолеть. Поэтому, встретившись однажды в 1683 г. с Гуком, он спросил в присутствии Врена его мнение об этих проблемах. Самоуверенный и всезнающий, как всегда, Гук ответил, что он может вывести ясно и точно все законы небесных движений из гипотезы притяжения и определить вид планетных путей; но побудить его к опубликованию своих исследований Галлею не удалось, даже когда он вместе с Вреном назначил премию за решение этой задачи. Наоборот, у Ньютона, которого Галлей посетил в Кембридже в августе 1684 г. он нашел все, чего тщетно искал у Гука, и даже более того. Галлей тогда же стал настаивать, чтобы Ньютон немедленно опубликовал свои исследования, но тот еще был занят в это время разработкой вопроса в самом общем виде и представил *Королевскому обществу рукопись оконченного труда лишь два года спустя, именно в апреле 1686 г.* Гук поднял по этому поводу страшный шум, прямо обвиняя Ньютона, будто тот воспользовался его мыслью и обнародовал его открытия под видом якобы собственных. В свою очередь рассерженный Ньютон написал тогда Галлею упомянутое уже выше крайне резкое письмо (от 20 июня 1686 г.), в котором он в свою очередь обвиняет Гука в плагиате. Вскоре, однако, Галлею удалось смягчить Ньютона, и тот в письме от 14 июля 1686 г. уже обещает ему упомянуть в примечании к своему сочинению о заслугах Гука, Врена и Галлея. Королевское общество разрешило напечатание труда, и он появился в 1687 г. при содействии Галлея, вероятно, даже на его счет, под заглавием: «*Philosophiae naturalis principia mathematica*».

Уже самое заглавие труда показывает, что это *главное сочинение Ньютона* далеко не ограничивается механикою небесных движений. Последняя занимает лишь небольшую часть труда; в целом же сочинение представляет собою *руководство математической физики, настолько полное, насколько позволяло состояние науки того времени*, но, к сожалению, не настолько ясно и легко написанное, как бы это была желательно в интересах его общедоступности.

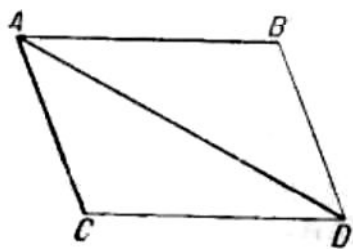
Ньютон начинает свои «Principia», в соответствии с геометрическим методом, которым проникнуто все сочинение, с *определений*. В очень обширном *введении* он определяет *количество материи или массу тела как произведение из объема и плотности; величину движения — как произведение из массы и скорости; приписывает материи способность сопротивляться или оставаться в своем состоянии (покоя или равномерного прямолинейного движения) и переходит затем к двум крайне замечательным определениям силы. «Приложенная сила есть направленное на тело стремление изменить его состояние — покоя или равномерного прямолинейного движения. — Центростремительная сила воздействует таким образом, что тело притягивается или толкается к какой-нибудь*

АКСИОМЫ ДВИЖЕНИЯ. ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ 223

точке как к центру или вообще направляется каким-либо образом. Затем следуют определения абсолютной центростремительной силы как пропорциональной действующей причине, распространяющейся из центра на окружающее пространство; ускоряющей центральной силы как пропорциональной скорости, которая развивается за определенное время, и движущей центральной силы как пропорциональной образованной за определенное время величине движения. Относительно последнего еще особо отмечается, что эта сила должна быть равна произведению ускоряющей центральной силы на массу движущегося тела, потому что величина движения равна произведению массы тела на скорость. В примечании Ньютон обычным образом формулирует, в чем состоит различие между абсолютным и относительным пространством, абсолютным и относительным местом и затем между абсолютным и относительным движением.

За определениями следуют аксиомы движения: 1) *Всякое тело остается в своем состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если действующая на него сила не вынуждает его изменить это состояние.* 2) *Изменение движения пропорционально действующей силе и происходит в направлении последней.* 3) *Действие равно противодействию.* Дополнительно к этому указывается, между прочим, следующее: *под общим действием двух сил тело проходит за данное время диагональ параллелограмма, стороны которого оно прошло бы под действием тех же сил, взятых в отдельности;* взаимное действие многих тел друг на друга не изменяет ни алгебраической суммы количества их движения, ни положения их общего центра тяжести; тела, заключенные в данном пространстве, сохраняют свои движения друг относительно друга неизменными, независимо от того, находится ли заключающее их пространство в покое или в состоянии равномерного прямолинейного (но не кругового) движения.

Ньютон совершенно определенно приписывает закон инерции и параллелограмма сил Галилею. Но мы уже видели, что Галилей не рассматривал общего вопроса о сложении сил и, во всяком случае, закона параллелограмма сил не доказал. У Ньютона доказательство этого закона основано на 2-й аксиоме. Соответственно ей он принимает, что сила, действующая на тело по линии AC , не может изменять скорости, с которой тело под влиянием силы, действующей по линии AB , приближается к BD ; и так как это положение имеет силу и в обратном порядке, то тело должно пройти по диагонали AD . Ньютон ссылается, далее, на то, что приведенное сложение и разложение сил вполне подтверждается механикой. Ньютоновский вывод параллелограмма сил, в сущности, есть не что иное, как применение к специальному частному случаю его второй аксиомы движения. Следовательно, подобно Галилею, он считал эту теорему как бы готовым заданным основным положением механики, нуждающимся лишь в разъяснении на примерах. У Пьера Вариньона (профессор математики в Париже, 1564—1722), в его «*Projet d'une nouvelle mecanique*» (1687) параллелограмм сил выведен приблизительно так же, как и



Черт. 12.

224 ДВИЖЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СИЛ

у Ньютона, а именно, у него тело под влиянием одной силы движется по прямой линии, которая под влиянием второй силы, в свою очередь, перемещается параллельно своему первоначальному положению; а в посмертном большом сочинении «*Nouvelle mecanique*» (Париж, 1725) того же автора все простые машины объясняются при помощи параллелограмма сил; например, закон рычага доказан тем, что равнодействующая сил, действующих на рычаг и находящихся в равновесии, проходит через точку опоры рычага.

Введение заканчивается рассмотрением общих законов движения. Однако прежде чем перейти к специальной математической разработке вопросов о движении тел, Ньютон подготавливает орудие для исследования. Он еще не пользуется, по крайней мере, в начале книги, своей теорией флюксий, но развивает в *1-м отделе первой книги* синтетически-геометрический суррогат, *метод первых и последних отношений*, т. е. *метод предельных значений геометрических отношений*. Следует заметить, что если его флюксионное исчисление представляет вследствие неудобных обозначений трудности для применения, то это в еще большей мере относится к его геометрическому методу. Оттого-то понимание книги Ньютона и представляет трудности для математиков, привыкших к аналитическим методам. Однако дальше, во второй главе второй книги, Ньютон уже излагает элементы своей теории флюксий.

2-я глава первой книги начинается с определения центростремительных сил. Ньютон доказывает, прежде всего, в самом общем виде так называемый закон площадей; *тела, движущиеся по путям, радиусы которых направлены в неподвижную точку схождения всех сил, остаются неизменно и одной и той же плоскости и описывают в равные времена равные площади.* Затем доказывается обратный закон: *всякое тело, движущееся по кривой с радиусами, направленными в общую неподвижную точку, и описывающее вокруг последней площади, пропорциональные временам, движется под действием центростремительной силы, направленной в неподвижную центральную точку.* Затем следуют количественные определения центростремительной силы для различных путей и различного положения центра сил, например для круга и точки на окружности и для эллипса и его центра.

В 3-й главе специально доказывается, что при эллиптическом, или гиперболическом, или параболическом пути центральная сила, направленная в фокус, должна быть обратно пропорциональна квадрату радиус-вектора. Как известно, движения по различным видам конических сечений различаются отношением скоростей. *Обратные положения Ньютон доказывает не в самом общем виде.* Правда, он ставит общую задачу — найти линию, описываемую телом, если дана исходная точка, скорость и направление движения и если величина центростремительной силы обратно пропорциональна квадрату расстояния точки от центра; но вслед за этим он тотчас же принимает, что *такими линиями будут конические сечения, и лишь определяет вид кривой по данной величине скорости и ее направлению.* Впрочем, небесной механикой ставился лишь вопрос первого рода; поэтому Ньютон поставленную им перед собой задачу по существу дела разрешил.

МАЯТНИК. ПРИТЯЖЕНИЕ ШАРООБРАЗНЫХ ТЕЛ 225

4-я и 5-я главы первой книги содержат чисто математические построения конических сечений по данным элементам; а в 6-й главе дано определение положения тела на его пути в заданные моменты времени. 7-я глава рассматривает прямолинейные движения тел по отвесной линии вверх и вниз под влиянием различных видов притягательных сил. 8-я глава сравнивает движения по кривой под действием любой центральной силы с движениями вверх и вниз по отвесной линии. 9-я глава трактует о наиболее важных для астрономии движениях тел по орбитам, которые в свою очередь движутся.

*О качаниях маятника трактует 10-я глава. Здесь выведены все законы Гюйгенса, с определенным упоминанием его имени; изложено также начало теории пространственного маятника. До сих пор Ньютон рассматривал только движущиеся точки; начиная отсюда, речь будет идти также о физических телах, и будет приниматься в расчет их масса. 11-я глава рассматривает движения взаимно притягивающихся шарообразных тел. Два тела, притягивающихся обратно пропорционально квадрату их расстояния, описывают вокруг своего общего центра тяжести и друг около друга кривые конического сечения. Закон площадей приложим и к этим движениям, которые всегда можно истолковать так, как будто они производятся притяжением третьего тела, помещенного в общем центре тяжести. Затем следует подробный разбор движений трех и, наконец, многих взаимно притягивающихся тел. В 12-й главе Ньютон переходит к рассмотрению вопроса, как складывается притяжение шарообразного тела из притяжений его отдельных частиц. Принимая, что материальные частицы взаимно притягиваются пропорционально их величине и обратно пропорционально квадратам взаимных расстояний, Ньютон приходит к следующим положениям. *Маленькое тело (физическая точка) внутри сферического слоя находится повсюду в равновесии; внутри массивного однородного шара оно притягивается к центру последнего силою, прямо пропорциональною расстоянию его от центра; если же маленькое тело находится вне шара, то оно притягивается к центру с силою, обратно пропорциональною квадрату расстояния его от центра; два однородных или два состоящих из однородных слоев шара взаимно притягиваются с силою, прямо пропорциональною произведению масс обоих шаров и обратно пропорциональною квадрату расстояния их центров. В 13-й главе изложены аналогичные рассуждения применительно к некоторым другим формам тела, например сфероидам.**

В 14-й главе рассматривается преломление света в чрезвычайно отвлеченной форме. Допускается, что маленькие тела, переходя из одной среды в другую, проходят через промежуточный слой, ограниченный параллельными плоскостями и, не встречая в нем никаких препятствий к движению, притягиваются или отталкиваются второй средой. Затем следует положение, что синус угла прохождения по второй среде находится в постоянном отношении к синусу угла вступления в нее и что скорости при входе и выходе пропорциональны синусам соответствующих углов. Таким образом столь долго оспаривавшееся положение теории истечения, что скорость света в более плотных средах больше, чем в более редких, здесь вновь утверждается.

226 ДВИЖЕНИЕ В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ

Говоря о преломлении света, Ньютон определенно упоминает Снеллия и Декарта. В пользу конечной скорости света он приводит наблюдение Ремера над спутниками Юпитера, а в защиту положения, что среда оказывает притяжение на частицы света, ссылается на наблюдения Гримальди в области дифракции, из которых, по мнению Ньютона, следует, что свет, проходя мимо непрозрачных тел, ими притягивается. Этим заканчивается первая книга. *Вторая начинается с движения тел в сопротивляющихся средах; в 1-й главе рассматривается движение в такой среде, где сопротивление пропорционально скорости. Ньютон находит, что тело, падая в подобной среде, не может достичь бесконечно большой скорости, а достигает лишь некоторой максимальной скорости¹; при этом он дает правило для построения траектории в подобной среде. В заключение Ньютон, однако, отмечает, что подобные условия встречаются лишь в редких случаях, при крайне медленных движениях в очень плотных средах; в большинстве же случаев — в связи с тем, что большие скорости должны еще при этом передаваться сопротивляющейся среде в более короткие промежутки времени — сопротивление должно быть пропорционально квадратам скоростей. Движению при подобных условиях посвящена 2-я глава второй книги. Исходя из предположения, что сопротивление среды прямо пропорционально ее плотности, Ньютон ставит вопрос о распределении плотностей в отдельных местах, при котором брошенное тело описывает данную кривую. Но обратную и наиболее важную задачу определения линии полета в равномерно сопротивляющейся среде Ньютон здесь не сумел разрешить: он ограничивается лишь замечанием, что эта кривая должна быть скорее гиперболической, чем параболической. 3-я глава посвящена движению в среде, которой сопротивление частью пропорционально первой степени скорости, частью квадрату ее. На этом исследование и заканчивается, хотя здесь можно было бы сделать еще много различных других предположений. Ньютон имел в виду лишь открыть доступ в эту область. 4-я глава, правда, рассматривает еще круговое движение в средах, которых плотность в отдельных местах изменяется по определенным законам. В 5-й главе излагается гидростатика. «Жидкость — это всякое тело, части которого уступают действию любой силы и, уступая, легко передвигаются друг относительно друга». Следующие затем рассуждения о несжимаемых жидкостях не представляют ничего нового; но в разделе об упругих жидкостях доказываемое одно очень важное для барометрического измерения высот положение: если плотность жидкости пропорциональна испытываемому ею давлению и частицы ее притягиваются вниз тяжестью, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра, то на расстояниях, представляющих гармоническую прогрессию, плотности жидкости будут представлять геометрическую прогрессию. В виде прибавления, далее, указывается: если тяжесть считать неизменной, то на расстояниях, возрастающих в арифметической прогрессии, плотности*

¹ Декарт («Lettres», t. III, p. 105) уже утверждал, что скорость тела, падающего в сопротивляющейся среде, приближается мало-помалу к определенному пределу; Гюйгенс называет эту скорость предельной (*vitesse terminale*).

МАЯТНИК. СКОРОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ 227

будут увеличиваться в геометрической прогрессии. Открытие последнего закона, вытекающего непосредственно из исследований Мариотта, приписывается здесь Галлею. В заключение этой главы Ньютон касается причин упругости. Если плотность жидкости возрастает пропорционально сжимающей силе и жидкость состоит из частиц, *стремящихся* удалиться друг от друга, то отталкивательная сила должна возрастать обратно пропорционально расстояниям между ними. При этом Ньютон осторожно замечает, что он вовсе не имеет в виду приписывать частицам упругих жидкостей свойство взаимного отталкивания — *в действительности решение этого вопроса есть дело физиков, он же лишь хотел дать последним повод заняться исследованием этого вопроса.* В 6-й главе вновь идет речь главным образом о движениях маятника, но здесь преимущественно уделяется внимание сопротивлению, оказываемому этим движениям со стороны среды. Сначала доказывается, что *количество материи (масса) маятника прямо пропорционально весу и квадрату продолжительности одного качания (в пустоте) и обратно пропорционально длине маятника;* в связи с этим отмечается, что *посредством маятника можно измерять разницу в весе одного и того же тела в различных местах земной поверхности и таким образом определять изменение силы тяжести.* Затем рассматриваются движения кругового и циклоидального маятника в сопротивляющихся средах. Изложенные законы Ньютон предлагает применять с обратной целью — *пользоваться маятником как средством для определения сопротивления различных сред.* Со своей стороны Ньютон приводит множество опытов касательно сопротивления воздуха, воды и пр., показывая постоянно, что *сопротивление пропорционально плотности жидкости.* В 7-й главе рассматриваются различные сопротивления при движении в жидкостях тел разной формы, например, шара, конуса, цилиндра и т. д.; вместе с тем и обратно определяются сопротивления, представляемые такими телами движущейся жидкости¹. Там же приводится много опытов, касающихся замедления падающих тел, производимого сопротивлением воздуха, и полученные результаты сравниваются с теорией. Рассматривая скорость истечения жидкостей через отверстия в дне сосудов, Ньютон первый заметил *сжатие водяной струи у отверстия* и связанное с этим уменьшение количества вытекающей жидкости. Это явление он объясняет боковыми скоростями частичек, устремляющихся со всех сторон к отверстию. Любопытно, что здесь он упоминает Галилея как автора закона падения и ни слова не говорит о Торичелли, открывшем закон скорости истечения жидкостей. В 8-й главе второй книги излагаются *математические основы акустики.* Всякое колеблющееся тело распространяет в упругой среде движение своих толчков во всех направлениях по прямым линиям, при этом отдельные частицы среды движутся то вперед, то назад, ускоряясь и замедляясь, наподобие качающегося маятника. Поэтому, если представить себе жидкость сжатой, подобно нашей атмосфере, каким-нибудь грузом

¹ Эти столь важные для мореплавания исследования были затем продолжены Як. Бернулли (Acta Erud. 1693), Иог. Бернулли (Nouvelle theorie de la manoeuvre) и Германном (Phoronomia).

228 СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН

и обозначить через A высоту однородной среды, вес которой был бы равен весу давящего груза, а плотность равнялась бы плотности той жидкости, в которой распространяются толчки, тогда последние распространялись бы за то самое время, за какое маятник длиной в A совершает полное качание, на длину окружности круга с радиусом A . Но высота A прямо пропорциональна упругости жидкости и обратно пропорциональна плотности последней; следовательно, *скорость распространения волн в упругой среде прямо пропорциональна квадратному корню из силы упругости и обратно пропорциональна квадратному корню из плотности среды*; при этом предполагается, что сила упругости возрастает в одинаковой мере с плотностью.

Это правило показывает, что скорость распространения волн зависит только от упругости и плотности среды, но не зависит от скорости колебаний или от длины волн. *Последние исследования Ньютон определенно относит к движению звука и света, но дает лишь несколько применений к теории звука.* Отметив, что *скорость звука изменяется с температурой среды* и летом, например, должна быть больше, чем зимой, он пытается вывести скорость звука непосредственно из своей формулы. Удельный вес ртути равен почти $13^{2/3}$, а удельный вес воздуха $1/870$; следовательно, ртуть в 11 890 раз тяжелее воздуха. На этом основании при барометрической высоте в 30 дюймов высота воздушного слоя, плотность и вес которого соответствовали бы плотности и весу воздуха у земной поверхности, должна была бы составить 29 725 футов, и, следовательно, такую величину следует взять для упомянутой выше длины A . Маятник подобной длины совершает одно качание в $190^{3/4}$ сек.; окружность круга с радиусом A равна 186 768 футам; на эту длину, значит, распространяется звук в течение $190^{3/4}$ сек.; следовательно, *скорость распространения звука равна 979 футам в секунду*. Ньютону, конечно, известно расхождение этого результата с числами, полученными прямым наблюдением, и в последующих изданиях своих «Начал» он приводит в качестве правильных данных для скорости распространения звука 1070 парижских или 1142 английских футов, объясняя отклонение собственных чисел не принятой в расчет величиной воздушных частичек или содержанием в воздухе водяных паров. Его объяснение, однако, не было признано удовлетворительным, и формула Ньютона долгое время считалась неверной. *Только новейшие физики подтвердили ее правильность, показав, что эта формула требует лишь поправки, так как вызываемое колебаниями уплотнение воздуха порождает теплоту, изменяющую упругость воздуха.*

9-я, последняя глава второй книги рассматривает вихреобразные движения преимущественно с целью *«убедиться, можно ли с помощью вихрей объяснить небесные явления»*. Ньютон находит, что когда шар вращается в какой-либо среде около постоянной оси и только этим приводит в движение частицы окружающей среды, то периоды оборотов частиц находятся в квадратном отношении к их расстояниям от центра. Но это движение, в приложении к планетам, противоречит третьему кеплеровскому закону, и отсюда Ньютон выводит полную неприемлемость декартовской теории вихрей. При этом он,

ПРАВИЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ 229

однако, оставляет без внимания ряд вспомогательных гипотез Декарта, и в особенности ту, согласно которой всякая планета, бывшая некогда центральным телом, вступает в центральный вихрь с некоторою собственною скоростью и, во всяком случае следует уже за вихрем сообразно своей массе с видоизмененною скоростью. Вообще, *по-видимому, Ньютон и его ученики не очень углублялись в изучение работ Декарта, иначе они, конечно, заметили бы, что хотя картезианская система и была совершенно недостаточна для объяснения явлений, но доказать ее несостоятельность было не так легко, как это им казалось.*

В третьей книге своего сочинения Ньютон переходит, наконец, к применению своих механических теорий — к *мировой системе*. Так как в этой части интересы физики отступают на задний план, то мы приведем здесь лишь некоторые из положений, а именно те, которые представляют интерес для физики. Книга начинается с изложения четырех общих правил для исследования природы:

1) *Не допускать для объяснения естественных явлений никаких других причин сверх тех, которые являются истинными и достаточными для объяснения.* 2) *Поэтому приписывать, насколько возможно, однородным действиям одни и те же причины.* 3) *Свойства тел, которых нельзя ни усилить, ни ослабить, и которые присущи всем телам, способным быть объектами опыта, следует считать свойствами всех тел вообще.* Здесь мы встречаемся с основным пунктом ньютоновских воззрений. В качестве общих свойств всех тел он принимает: протяженность, непроницаемость, твердость, инерцию и подвижность. Далее, он указывает, что все тела близ Земли тяготеют к последней, Луна тяготеет к Земле, а море — к Луне, планеты и кометы тяготеют к Солнцу; стало быть, существование тяготения как общего свойства материи доказано, в сущности, лучше, чем, например, непроницаемость, которую нельзя доказать для небесных светил каким-либо опытом или наблюдением. Тем не менее, он не склонен утверждать, что тяготение присуще телам по существу, т. е. присуще материи как некое общее её свойство. 4) *Законы, полученные в опытной физике с помощью индукции, если не существует противоположных законов, следует считать точными или почти верными до тех пор, пока новые явления не придадут им большей надежности или же не укажут на наличие исключений.* «*Это необходимо для того, чтобы аргументы индукции не опровергались гипотезами*»¹.

Последнее, очевидно, направлено против Декарта и натурфилософов, не желавших признавать непосредственного действия силы на расстоянии в силу его непостижимости. Ньютон показал для спутников Юпитера, Луны, Земли и планет, что притягательные силы, проявляющиеся в движении этих небесных тел, тождественны с земною тяжестью. Отсюда он делает вывод, что все тела и все материальные частицы тяготеют друг к другу пропорционально количеству заключающейся в них материи и обратно про-

¹ Ньютон часто цитирует в своих «Началах» прежних физиков, например, имя Галилея упоминается во многих местах; имени Бэкона я у него нигде не встречал, но влияние Бэкона, тем не менее, сказывается в методически-философских замечаниях вроде приведенного.

230 О ФОРМЕ ЗЕМЛИ

порционально квадрату расстояния. За последнее говорит движение небесных тел, а в пользу первого Ньютон приводит тот опытный факт, что тяжесть не зависит от формы тел. Если же тяжесть обуславливается одним количеством материи, то *нет тел без тяжести* (следовательно, *нет ничего невесомого*); различный вес веществ может зависеть только от количества заключающихся в них пор или от степени разрежения материи; но в таком случае, отчего не допустить, что разрежение может дойти до нуля, т. е. отчего не признать существования пустого пространства¹. Своею зависимостью от количества материи тяжесть отличается от магнитной или электрической силы, потому что последние можно увеличивать и уменьшать в одном и том же теле, не изменяя в нем количества вещества. Вследствие вращения Земли сила тяжести не во всех местах одинакова; под экватором она уменьшается всего сильнее от действия центробежной силы; *по этой причине Земля у полюсов должна быть сжата* (подобно Юпитеру, имеющему сплюснутую форму); если бы этого не было, то моря у полюсов должны бы были снизиться, а под экватором повыситься и затопить сушу. Как опытные доказательства в пользу сжатия Земли, Ньютон приводит наблюдения *Рише* в Кайенне и затем наблюдения *Варена и Дезе*, получивших в 1682 г. длину секундного маятника на Парижской обсерватории, равной 3 футам $8\frac{5}{9}$ линиям, а на Гваделупе и Мартинике 3 футам $6\frac{1}{2}$ линиям. *Утверждение Ньютона о сжатии Земли несмотря на приведенные доводы не встретило одобрения со стороны ученых*; особенно сильно восставали против него члены Парижской академии. Они продолжали объяснять необходимость укорачивать маятник в теплых странах удлинением его стержня под влиянием теплоты, и хотя Ньютон показал, что этого рода удлинение слишком ничтожно, чтобы объяснить необходимое укорочение, но академики долго еще оставались при своем мнении. Этот вопрос вызвал национальную войну на научной почве между англичанами и французами, побудив последних предпринять градусные измерения в большем масштабе, и только благодаря этим измерениям вопрос позднее получил окончательное решение.

На основании своей теории притяжения Ньютон вычислил *высоты морских приливов, неправильности лунных движений, предварение равноденствий* и, наконец, *движение комет*. Из движения последних он заключил, что кометы представляют собою тела, подобные планетам, движутся по одним с ними законам и при своем движении не встречают в небесных пространствах никаких сопротивлений.

В заключение Ньютон приводит кометы как аргумент против теории вихрей, указывая, что многообразные движения их не только не могут быть объяснены действием солнечного вихря, но прямо противоречат такого рода движениям. Затем он отмечает, что планомерное единство, доказываемое его теорией притяжения во всей вселенной, вполне согласуется с представлением о верховном существе, о властителе и управителе всего мира, и, наконец, высказывает еще одну

¹ Ньютон повсюду является атомистом, хотя и не определяет точно понятия атома.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ НЬЮТОНА НА ПРИЧИНУ ТЯЖЕСТИ 231

мысль, которая из всей его системы встретила наименьшее признание со стороны современников. *«До сих пор я объяснял явления небесных тел и движение океана силой тяжести, но нигде я не указывал на причину последней. Эта сила происходит от какой-то причины, проникающей без какого-либо ослабления своей мощи (virtutis) до самого центра солнца и планет. Она действует не соразмерно количеству поверхностей частиц, на которые направлено ее действие (как в механических причинах), а соразмерно количеству твердой материи, и действие ее распространяется во все стороны ни неизмеримые расстояния». «Мне еще не удалось вывести из явлений основу этих свойств тяжести, а ГИПОТЕЗ Я ПРИДУМЫВАТЬ НЕ ХОЧУ». «Достаточно того, что тяжесть существует, что она действует согласно описанным нами законам и что она, в состоянии объяснить все движения небесных тел и океана».*

В самом деле, именно здесь лежал узел всех трудностей, которые представляла для современников новая теория. Мир физиков уже привык к тому, чтобы выбрасывать из науки все то, что не обладало достаточной наглядностью. Благодаря Аристотелю и его последователям учение об естественных свойствах тел было сильно дискредитировано. Ученые мало-помалу пришли к убеждению, что движение науки сильно затрудняется, если всякое явление, которого нельзя свести на другие явления, считать следствием естественных свойств данного вещества, его законною особенностью, и этим ограничивать дальнейшее исследование.

Вековой застой механики после Аристотеля достаточно убедил всех, что нельзя уйти далеко, если ограничиваться объяснениями вроде того, что для такого-то тела естественно подниматься, для другого — падать, для третьего — двигаться по кругу. Теперь, когда все естественные свойства материи были сведены на два, протяженность и инерцию, а действия сил получили максимально наглядное объяснение при помощи непосредственных толчков частиц, после того как, наконец, удалось выбраться в области физики на сравнительно чистый воздух, — вдруг появляется теория Ньютона, приписывающая материи свойство, столь же необъяснимое и, пожалуй, даже еще более загадочное, чем приписывавшиеся ей раньше свойства. Солнце, удаленное от Земли на миллионы миль, должно притягивать ее к себе без какого-либо посредства, без всякого контакта; всякая частичка материи должна стремиться к другой, наподобие живого существа, не имея для этого никаких органов! Такая мысль казалась вредным шагом назад к «скрытым качествам» перипатетиков, сознательным поворотом к прежнему мраку. Нельзя не согласиться, что, по крайней мере, картезианцы с их точки зрения имели право смотреть на дело именно таким образом. *Всякий, кто стоит на единственно правильной философской точке зрения постигаемости мира (хотя бы только в идеале), должен протестовать против допущения силы, действие которой должно навеки остаться для нас непостижимым.* Ньютон сознавал неловкое положение своей системы при таком освещении и старался всеми силами отстоять ее основную мысль, с одной стороны, сужая пределы толкования, с другой — доказывая, что новая теория вовсе не требует от своих привер-

232 ПРОТИВНИКИ ВСЕОБЩЕГО ПРИТЯЖЕНИЯ

женцев веры в чудеса. Он четко определяет силу только как *причину, приводящую к тому, что тело притягивается или толкается к точке или стремится прийти в нее; он не ставит себе целью объяснить, что такое эта сила, он не утверждает, что она является последним свойством материи, и не отрицает того, что в основе видимого притяжения материи лежит, может быть, какая-нибудь вполне наглядная причина;*

выражение «сила» применяется им единственно для краткого обозначения неизвестной причины известного действия. Его, как математика, интересует только действие и математическое обоснование количественной стороны явлений; то же, что составляет неизвестную причину, *causa gravitatis*, он оставляет в стороне, так как он не желает строить гипотез. Вообще во всей своей книге Ньютон твердо стоит на почве чисто математической, занимаясь математическим выводом законов количественных отношений из наблюдений. Во многих местах он заходит в этом отношении так далеко, что даже сам не разрешает вопроса о том, соответствуют ли его исходные положения действительности и имеют ли полученные им (математическим путем) выводы реальное значение, предоставляя проверку того и другого физикам.

Несмотря на все это, точка зрения Ньютона не была правильно усвоена его противниками и не была сохранена в неприкосновенности его друзьями и учениками; впрочем, и в том и другом отчасти был виноват сам Ньютон.

Главными противниками Ньютона были, как сказано, картезианцы. Объяснения своего учителя касательно движения планет и устройства вселенной они считали вполне удовлетворительными. Правда, учитель не вывел из своих многочисленных гипотез ни одного количественного закона, который послужил бы наилучшим средством для проверки системы; но между его учениками было мало математиков и астрономов, поэтому большинство довольствовалось тем, что объяснение казалось удобопонятным, и не придавало значения точным математическим количественным определениям. Вместо того чтобы признать все бесспорно доказанное Ньютоном, хотя бы тот факт, что небесные явления происходят именно так, как если бы тела стремились друг к другу в прямом отношении к их массам и в обратном к квадратам их расстояния; вместо того чтобы с благодарностью принять новые научные открытия и со своей стороны попытаться объяснить их вихревой теорией своего учителя Декарта, они просто отвергли все положения Ньютона и тем разделили обе системы непроходимой пропастью, сделавшей неизбежным полное уничтожение той или другой теории.

В таком обострении разногласий *ученики и приверженцы Ньютона* были, впрочем, столь же виноваты, как и картезианцы. Сам учитель Ньютон был настолько осторожен, что ограничивал свои высказывания узкими рамками и оставлял совершенно открытым философский вопрос о причине тяготения. Друзья же его не проявили этой осторожной половинчатости; они считали долгом чести восполнить то, что осталось недоказанным со стороны их учителя. Они-то и выдали гипотезу непосредственного действия на расстоянии за полное реше-

КОТЕС И АСТЮ IN DISTANS 233

ние задачи и, не колеблясь, причислили тяжесть к общим свойствам материи. Роджер Котес (1682—1716 г., с 1706 г. профессор математики и физики в Кембридже), занявшийся по поручению Ньютона вторым изданием его «Начал» (1713), высказывается по этому вопросу с особенной резкостью. В своем предисловии к сочинению он *прямо объявляет действие тел на расстоянии, actio in distans, общим свойством материи, не допускающим дальнейшего объяснения именно потому, что оно не является действием какой-нибудь другой причины, а само является первичной причиной, непосредственно вложенной в материю творцом.* «Неужели следует тяжесть называть скрытой причиной и изгонять ее из области естествоведения только потому, что причина ее еще не открыта? Пусть те, которые высказывают подобные мнения, обратят внимание, не заключается ли в их словах нелепости, способной подорвать самые основы физики. Путем сплетения причин мы, правда, постоянно нисходим от более сложного к более простому, но, придя к наипростейшей причине, мы дальше идти не можем. Она уже не поддается дальнейшим механическим объяснениям, в противном случае это не будет наипростейшая причина». По мнению Котеса, *тяжесть и есть такая наипростейшая причина*; попытки к ее дальнейшему разъяснению он считает антирелигиозными, потому что они предполагают или совершенное отстранение творца, или намерение вполне постичь его. «Кто считает себя в состоянии найти начала и законы естественного порядка вещей, опираясь только на силу своего ума и на внутренний свет своего разума, тот должен либо считать мир происшедшим из необходимости и выводить мировые законы из этой необходимости, либо же признавать мир возникшим по воле творца, но, тем не менее, себя, несчастного маленького человека, считать способным видеть, как можно было бы все устроить наилучшим образом». «Эти начала (установленные Ньютоном и Котесом) не станут менее достоверными оттого, что они не встретят благосклонного приема со стороны некоторых людей. Для последних они будут не нравящимися им чудесами и скрытыми свойствами; но злостные клички не следует переносить на самые вещи, иначе пришлось бы прямо заявить, что в основание естествознания должен быть положен атеизм». Хотя не все последователи Ньютона заходили в споре так далеко, чтобы объявлять безбожником всякого доискивающегося причины тяготения, тем не менее, эта проблема вскоре сделалась для всей ньютоновской школы запретным натурфилософским вопросом. Со стороны учеников, при их преклонении перед Ньютоном, было, конечно, естественно увлекаться в споре и считать теорию учителя вполне законченной; не менее понятно с их стороны и желание совершенно устранить из физики щекотливый вопрос о причине тяжести. *Но самому учителю не следовало бы давать вовлечь себя в крайности, ему следовало бы сохранить принятое им однажды правильное положение, чего он, к сожалению, не сделал.*

Ньютон озаглавил свое сочинение «Началами натурфилософии», и следует признать, что при его великих способностях он был в состоянии дойти до тех пределов познания вещей, какие только доступны

234 ОТНОШЕНИЕ САМОГО НЬЮТОНА

человеку. Для физики исследования Ньютона имеют громадное *общее значение*. Он первый сформулировал *общие основные законы движения*, которые хотя многократно и применялись до него, но никем не были высказаны во всей их общности. Своими определениями *абсолютной, ускоряющей и движущей силы, абсолютно и относительно движения* и своими законами движения он создал твердые основы для механики. Четким отграничением математических выводов от гипотетических основ дедукции он обеспечил за результатами точные критерии их правильности. Как экспериментатор, он проявил тоже большие способности и *был всегда склонен проверять свои результаты наблюдениями*. Словом, *Ньютон является совершенным физиком, способным обнимать в одинаковой мере и философскую, и математическую, и эмпирическую сторону явления*. Но *нельзя не признать, что он пользовался своими способностями не в одинаковой мере*. Работы Ньютона носят преимущественно математический характер; и сам он, отражая действительные или возможные нападки, постоянно напоминает, что он, как математик, защищает лишь непрерываемость своих математических выводов, допуская их совместимость с противоположными физическими теориями.

Подобно тому, как в теории истечения и волновой теории света, так и в вопросе о посредственном и непосредственном действии на расстоянии, он старался занять среднее положение. Как в оптике он условно касается объяснения оптических явлений, исходя из волновой теории света, так и в учении о тяготении он упоминает о возможности объяснения тяжести толчками распространенной повсюду эфирной жидкости. В одном месте, в связи с вопросом о действии этого эфира, он *открывает даже такие перспективы, смелее которых и теперь выдумать ничего нельзя*. Во 2-й главе первой книги своих «Начал» он говорит аналогично тому, как и при определении центростремительной силы ¹: «На этом основании я продолжаю объяснять движение взаимно притягивающихся тел тем, что смотрю на центростремительные силы, как на притяжения, хотя последние, выражаясь языком физики, может быть, было бы правильнее называть ударами. Но мы находимся в области математики и потому, дабы не вдаваться в физические споры, пользуемся привычными для нас выражениями». «Под словом притяжение я разумею вообще стремление тел сблизиться, все равно, является ли оно результатом самопроизвольного стремления тел друг к другу или действия каких-либо духов, или действия эфира, воздуха или какой-либо иной среды, телесной или бестелесной, каким-либо образом направляющей друг к другу плавающие в ней тела». В конце третьей книги он идет еще гораздо дальше: «Здесь было бы уместно сказать что-нибудь о духовной субстанции, проникающей во все твердые тела и содержащейся в них. Силой и деятельностью этой духовной субстанции частицы тел взаимно притягиваются на малейших расстояниях и, соприкасаясь, держатся вместе. Под ее же влиянием электрические тела действуют на огромных расстояниях, притягивая и отталкивая ближайшие к ним частицы. Посредством той же духовной субстанции

¹ См. стр. 22—23.

К ВРАЖДУЮЩИМ ТЕОРИЯМ 235

свет излучается, отражается, отклоняется, преломляется и нагревает тела. Все чувства возбуждаются и члены животных приводятся произвольно в движение ее же колебаниями; последние распространяются от внешних органов чувств при посредстве твердых нервных нитей до головного мозга, а отсюда передаются до самых мышц. Однако подобные вопросы не могут быть объяснены немногими словами; к тому же у нас нет еще достаточного количества опытов для точного установления и доказательства закона, согласно которому действует всеобщая духовная субстанция». В известных уже нам вопросах, приложенных к оптике, Ньютон тоже возвращается к теории эфира. «Не более ли тонка эта среда в плотных телах солнца, звезд, планет и комет, чем в пустых небесных пространствах между светилами; и по мере перехода в отдельные пространства, не уплотняется ли она постепенно и не является ли это причиной взаимного тяготения тел и тяготения частей последних друг к другу вследствие того, что все они стремятся перейти из более плотных областей в менее плотные? И хотя нарастание плотности на больших расстояниях может быть чрезвычайно медленным, тем не менее, упругость среды может быть достаточной для того, чтобы толкать тело от более плотных областей к менее плотным со всей той силой, которую мы называем тяготением. О необычайной силе упругости среды можно судить по скорости ее колебаний. Звук пробегает около 1140 футов в секунду и около 100 английских миль в 7—8 минут. Свет доходит от солнца к нам в 7 или 8 минут, пробегая за это время 70 000 000 английских миль, если предположить солнечный параллакс приблизительно равным 12 дюймам. Для того, однако, чтобы колебания этой среды могли обуславливать приступы легчайшего прохождения или отражения, они должны быть быстрее самого света и, следовательно, по крайней мере, в 700 000 раз скорее звука. В таком случае отношение упругости среды к ее плотности должно быть в $700\,000^2 = 490\,000\,000\,000$ раз больше отношения упругости воздуха к его плотности». Таким образом эфир можно принять за материю еще гораздо более тонкую, чем световая, и вместе с тем обладающую гораздо большею упругостью по отношению к плотности; при таких условиях эфир оказывал бы бесконечно малое сопротивление движениям небесных тел и, тем не менее был бы способен толкать тела друг к другу ¹. «Если бы кто-либо захотел спросить меня, как может среда быть до такой степени тонкой, пусть он скажет мне, как это возможно, чтобы атмосфера в высших слоях была в 1000 и в 100 000 раз легче золота, и каким образом можно путем трения извлечь из электрических тел истечения, настолько тонкие и легкие (и вместе с тем сильные по действию), что в весе тел не происходит заметных изменений; или как может быть магнитная материя настолько тонкой и легкой, чтобы проходить сквозь стеклянную пластинку без сопротивления и уменьшения ее силы, и вместе с тем настолько мощной, чтобы поворачивать магнитную стрелку сквозь стекло ².

¹ *Newton, Optice, lat, redd. S. Clarke, quaestio XXI.*

² *Newton, Optice, quaestio XXII.*

Невзирая, однако, на все эти указания Ньютона о возможности более глубокой причины тяжести; невзирая на то, что он почти защищает эфир как *causa gravitatis*, он ничего не сделал для окончательного решения столь важного вопроса. Мало того, он допускал со стороны своих учеников прямое противоречие мнениям, высказанным им самим по этому предмету. Так, например, в «Началах» Ньютон сам почти отвергает возможность непосредственного действия на расстоянии, всякое *actio in distans*; а в предисловии ко второму изданию его ученик Котес объявляет самое искание такой причины или посредствующего агента при действии на расстоянии признаком атеизма. Отсюда получается впечатление как будто с летами Ньютон стал одностороннее и резче. Если в первое время он только уклонялся от занятия какой-либо определенной позиции в соответствующих вопросах, то на старости он просто остановился на наиболее удобной гипотезе; и если сам он не отказался от своего прежнего нейтрального положения, то позволил ученикам открыть под его знаменем борьбу против физиков и философов, которые не соглашались с мнением, принятым им без достаточной проверки. Таким образом *Ньютон пассивно, через своих последователей, стал основателем теории истечения света и действия на расстоянии, несмотря на то, что в своих сочинениях он отказался высказаться решительно в пользу той или другой гипотезы*. С какой бы стороны мы ни посмотрели на это дело, нельзя отрицать, что подобное отношение было недостойно такого гениального человека, каким был Ньютон¹.

Трудно решить, зависело ли это своеобразное отношение единственно от характера Ньютона, или же оно было также вызвано нападками на него. Во всяком случае, оно не облегчило и не ускорило победы защищаемого им дела. *Всего упорнее придерживались авторитета своего соотечественника Декарта французы*; но и в Англии последний имел не малое число приверженцев, особенно среди преподавателей физики. Во Франции и Англии самым распространенным руководством был «*Traité de physique*», составленный французом *Рого* (1671) на основе воззрений Декарта. И только в 1697 г., когда *С. Кларк*, вместо плохого английского перевода этого сочинения дал хороший латинский, прибавив в сносках изложение воззрений Ньютона, положение вещей постепенно изменилось в пользу последнего, и кафедры физики стали замещаться его учениками и последователями. *Отсюда произошел разлад между физиками Франции и Англии, длившийся довольно долго*. Вольтер, посетивший Англию в 1727 г., писал по этому поводу: «В Париже вселенную видят наполненной эфирными вихрями; здесь же в том же мировом пространстве ведут свою игру невидимые силы. В Париже приливы и отливы морей вызываются давлением луны;

¹ Цельнер («*Principien einer elektro-dyn. Theorie*», Leipz. 1876, т. I, стр. XXIV—LXIII) полагает, что Ньютон к старости изменил свои взгляды и что Котес изложил указанные выше положения по его прямому поручению. В таком случае непонятно, почему Ньютон сам не изменил противоречащих этому мест своих «Начал», тем более, что во многих других местах им были сделаны исправления при этом втором издании.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕОРИЙ НЬЮТОНА 237

в Англии, напротив, моря тяготеют к луне; так что в то самое время, как парижане ждут от луны высокого стояния воды, граждане Лондона ожидают отлива». «У вас, картезианцев, все происходит вследствие давления, чего мы, простые смертные, не можем взять хорошенько в толк; у ньютонианцев, напротив, все вызывается тягой, что столь же непонятно. Наконец, в Париже землю изображают удлинённой у полюсов, подобно яйцу, в Лондоне же, напротив, земля уплощена, как дыня». В Англии сторонниками Ньютона сделались самые выдающиеся ученые: Рен, Галлей, оба Грегори, Котес, Кейль; вне Англии его противниками были такие великие физики, как Гюйгенс, Бернулли и др. В 1736 г. *Мопертюи* во Франции написал первый трактат в благоприятном для Ньютона духе, но еще *Фонтенель* в 1756 г. умер убежденным картезианцем. Впрочем, с другой стороны, стало проявляться и стремление распространить новое учение в самых широких кругах; так, в 1739 г. появилась книга: *Newton's Philosophy, explained for the use of ladies from the Italian of Algarotti* (2 vol.).

Ньютоновские «Начала» еще при жизни автора успели выйти в трех изданиях; второе (1713 г.) подготавливал, как уже было указано, Котес, третье (1726) — Пембертон. После того «Начала» вышли на английском языке в 1729 г. и 1802 г., на французском — в 1759 г. (переводчицей была маркиза *дю-Шатле*, друг Вольтера) и в 1872 г. — в немецком переводе *Вольферса*¹. Несмотря на такое широкое распространение, это сочинение влияло не столько прямо, сколько благодаря работе популяризаторов, приближавших его к общему уровню знаний. Отвлеченно математическая постановка проблем и геометрически-синтетический способ их решения делали эту книгу недоступной для большинства; кроме того, такая форма изложения не только затрудняла понимание текста, но и была мало приспособлена для облегчения дальнейшего прогресса науки, для дальнейшего ее развития силами новых физиков. Непосредственные ученики Ньютона, настаивавшие на употреблении ньютоновского метода и его исчисления флюксий в том самом виде, как они были выработаны их творцом, утратили мало-помалу руководящее значение в математической физике и в самой математике. Французы и немцы, продолжавшие разработку дифференциального исчисления Лейбница, стали во главе нового движения математической науки, а вместе с тем и ньютоновских теорий.

На *частной жизни* Ньютона выход в свет его великого творения в первое время очень мало отразился. Еще в 1699 г. он тщетно хлопотал об увеличении содержания. «Вижу, что мое дело — сидеть смирно», писал он около этого времени своему другу, философу Локку. Поворот к лучшему начался с 1695 г., когда он получил через посредство своего ученика и почитателя, лорда Монтегю, хорошо оплачиваемое место хранителя монетного двора, а в 1699 г. место директора этого же учреждения, связанное с блестящим содержанием. В 1703 г. Ньютон отказался от кембриджской кафедры в пользу Вильяма

¹ «Sir Isaac Newton's Principien der Naturlehre», herausgegeben von Prof. Dr. J. Th. Wolfers, Berlin, 1872. Русский перевод академика А. Крылова вышел в 1913 г. (*Прим. ред.*).

238 ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ СВЕТА ГЮЙГЕНСА

Уиттона и с тех пор жил большею частью в Лондоне или Кенсингтоне. Внешние знаки отличия начали сыпаться на него с разных сторон; он был избран членом парламента; Королевское общество начиная с 1703 г. ежегодно избирало его своим президентом, а королева Анна возвела его в звание кавалера. Из научных работ за «Началами» не последовало ничего капитального; однако Ньютон до конца жизни принимал деятельное участие в работах Королевского общества. С 1722 г. Ньютон начал сильно страдать подагрой, ревматизмом и каменной болезнью, но еще за месяц до своей смерти он председательствовал в обществе. Он умер 21 марта 1727 г. и был погребен в Вестминстерском аббатстве с большими почестями. Поэт Попе сочинил для него следующую надгробную надпись: Nature and Naturés laws lay hid in night; God said: «Let Newton be», and all was light»¹ Подобно многим крупнейшим ученым того времени, Ньютон не был женат. Домашним хозяйством его до конца жизни заведовала племянница. В последние годы Ньютон (как и Бойль) занимался теологическими вопросами. В 1736 г. появилось в посмертном издании его сочинение о пророке Данииле и толкование Апокалипсиса — произведения, которых было бы лучше не предавать гласности.

Последствия странного поведения Ньютона, считавшего возможным лично пользоваться научной теорией, не высказываясь определенно ни в пользу этой теории, ни в пользу теории ей противоположной, отразились всего тяжелее на Гюйгенсе и его волновой теории света. Против старого воззрения об истечении мельчайших частиц из светящегося тела давно уже слышались возражения. Гримальди в нерешительной форме, а Гук в более определенной заявили, что свет происходит от колебательного движения бесконечно тонкой и легкой среды эфира и распространяется волнообразно наподобие звука. В 1678 г. Гюйгенс прочел перед Парижской академией мемуар, в котором он не только утверждал, но и доказывал, что только последнее воззрение на природу света может быть правильным. Так как, однако, ему пришлось покинуть Париж в 1681 г., то печатание его мемуара затянулось, и последний вышел только в 1690 г. под заглавием: «Traite de la lumiere, ou sont expliquees les causes de ce qui arrive dans la reflexion et dans la refraction et particulièrement dans l'etrange refraction du Cristal d'Islande avec un discours de la cause de la pesanteur» (Лейден, 1690). *В этом сочинении содержится полное изложение волновой теории света, тождественной с принятой в наше время, за исключением одного существенного пункта.*

Гюйгенс предполагает существование тончайшей, в высшей степени подвижной, разлитой по всей вселенной материи, эфира. Если в каком-либо месте частица эфира приходит в колебание, движение это сообщается всем соседним частицам, и в пространстве пробегает эфирная волна, имеющая первую колеблющуюся частицу своим центром. Когда такая волна на своем пути встречает наш глаз, мы получаем ощущение

¹ «Природа и ее законы лежали скрытыми во тьме; бог сказал: «Да будет Ньютон,— и появился свет».

СКОРОСТЬ СВЕТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ 239

света. Гюйгенс не находит ничего необыкновенного в предположении подобной эфирной среды, так как свет распространяется и в безвоздушном пространстве; он полагает, что поразительную скорость распространения света гораздо легче объяснить таким волнообразным движением, чем гипотезой материи, передающей с подобной скоростью не движения, а отдельные весомые частицы. Далее он показывает, каким образом световые волны при встрече с непрозрачными средами отражаются под равными углами, и, наконец, каким образом при переходе из одной среды в другую направление этих волн должно изменяться согласно законам преломления. При помощи волновой теории Гюйгенс объясняет отражение и преломление света по меньшей мере, столь же хорошо, как Ньютон с точки зрения своей теории истечения; но только ему пришлось сделать противоположное предположение об изменении скорости света при переходе света из одной среды в другую. *В то время как Ньютон полагал, что скорость распространения света в различных средах обратно пропорциональна синусам отклонений от перпендикуляра, Гюйгенс должен был принять ее прямо пропорциональной.* К сожалению, это разногласие не давало пока возможности убедиться в преимуществе той или другой гипотезы, так как скорость распространения света в различных средах тогда еще не могла быть измерена. Зато из других источников стали известны иные наблюдения, которые могли быть объяснены только с помощью волновой теории.

Эразм Бартолин (1625—1698 г., профессор математики и медицины при Копенгагенском университете) открыл, что, если смотреть сквозь большие прозрачные куски *исландского известкового шпата*, то предметы кажутся двойными, и что, следовательно, *всякий световой луч, выходящий из какой-либо точки предмета, делится в кристалле на два луча.* Рассматривая затем предметы под различными углами, и определяя показатели преломления, он для одного из лучей нашел показатель, соответствующий закону преломления, а именно равный $\frac{5}{3}$, для другого же луча не мог установить никакого правила¹. Это-то явление начал изучать Гюйгенс и открыл его закон при помощи волновой теории света. Исландский шпат имеет форму ромбоэдра, если срезать (т. е. отшлифовать) два противоположные тупые угла *A* и *B* перпендикулярно к соединяющей их линии (главной оси кристалла), то черная точка, рассматриваемая сквозь кристалл в направлении этой линии, будет видна в единственном числе, при всяком же косвенном наблюдении по отношению к этой линии она будет видна вдвойне. Световой луч, выходящий из черной точки, разлагается, следовательно, внутри кристалла на два, из коих один преломляется отлично от другого во всех направлениях, за исключением направления, параллельного к главной оси. При указанном способе шлифовки углов оба луча остаются еще в плоскости падения; но если срезать углы наискось к оси, то один из лучей выходит уже из плоскости падения. *Первый луч называется*

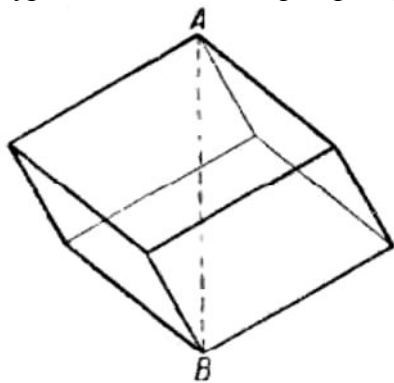
¹ «Experimenta Crystalli Islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur», Копенгаген, 1669.

240 РАЗДВОЕНИЕ ЛУЧА В ИСЛАНДСКОМ ИЗВЕСТКОВОМ ШПАТЕ

обыкновенным, и для него Гюйгенс (как и Бартолин до него) нашел постоянный показатель преломления, равный $\frac{5}{3}$. Чтобы найти правило для построения в каждом данном случае хода и второго, так называемого *необыкновенного луча*, Гюйгенс принял, что мельчайшие частицы известкового шпата имеют форму *эллипсоидов вращения*, *которых малая ось (ось вращения) параллельна главной оси кристалла*, и что поэтому *оптическая плотность известкового шпата в направлении главной оси всего больше, во всех же других направлениях меньше и везде обратно пропорциональна соответствующим радиусам эллипсоида*. При этом условии всякая световая волна, выходящая из одной

точки, разлагается в кристалле на две волны. В первой, имеющей шаровидную форму, скорость распространения во всех направлениях одинакова, а, следовательно, и показатель преломления один и тот же. Вторая же волна имеет форму эллипсоида вращения, сходную с формой частиц шпата. Здесь скорость распространения в направлении главной оси всего больше (равна скорости шаровой волны), а в других меньше. Первая волна производит обыкновенный, вторая необыкновенный луч. Из целого ряда измерений преломления необыкновенного луча Гюйгенс вывел форму этого эллипсоида и нашел отношение между его осями приблизительно равным 0,9. Вместе с формой эллипсоида для каждого направления определяется его радиус, а, следовательно, и скорость распространения света в данном направлении, равно как и показатель преломления. *Отсюда уже ясно, каким образом Гюйгенс для любого направления падающего луча находил вычислением или построением (без всяких дальнейших наблюдений) направление необыкновенного луча. Свою теорию он проверил многими измерениями, и согласие между теорией и наблюдением служило для него надежным доказательством правильности волновой гипотезы.*

К сожалению, современники не были расположены признать ее. Ньютон в своей «Оптике», вышедшей 14 лет после напечатания исследований Гюйгенса, упоминает о них по поводу свойств исландского шпата и, несмотря на это дает неверное указание о способе построения необыкновенного луча. То обстоятельство, что Гюйгенс защищал свою теорию, по-видимому, неблагоприятно повлияло на отношение к ней Ньютона. Что же касается его последователей, — а таковыми постепенно стали все физики-оптики, — то они сочли за лучшее убить молчанием неудобный для них трактат о хлопотливой волновой теории. «*Traite de la lumiere*» *остался для ближайшего будущего без всякого значения; это сочинение как будто вовсе не существовало для целого последующего столетия, и даже великий Эйлер не мог добиться должного к нему внимания.* Лучшие историки в конце прошлого века упоминают о трактате Гюйгенса почти как о каком-то курьезе, и еще Фишер¹, рассуждая о гюйгенсовском доказательстве закона пре-



Черт. 13.

¹ Fischer, „Gesch. d. Physik,“ II, стр. 47.

ГЮЙГЕНС И ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ 241

ломления, замечает: «Как ни правильно это доказательство само по себе, оно все же основано на гипотезе, которая вряд ли может найти приверженцев в настоящее время. Сверх того, из него вытекало бы, что световые лучи в более плотных средах преломляются сильнее, чем в средах менее плотных, а последнее прямо противоречит опыту».

И, тем не менее, путь, которым шел Гюйгенс при обосновании своего нового учения, представляет собой один из лучших образцов правильного физического метода. Своим знаменитым афоризмом: «Я гипотез не строю» Ньютон вновь указал физике путь чистой индукции. Между тем, именно его «Оптика» служит доказательством того, что без помощи гипотезы о сущности явлений едва ли можно придти к объяснению столь сложных явлений, как дифракция, двойное преломление и т. д. С другой стороны, Гюйгенс, выведя математические законы явлений на основании своей теории волнообразного движения света и проверив полученные результаты на многочисленных опытах, дал физической оптике, и с точки зрения метода, основы, благодаря которым она в новейшее время сделалась одним из наиболее надежных и наиболее разработанных отделов физики.

Восхваляя этот метод, мы, однако, не должны забывать, что и Гюйгенсу не удалось найти объяснения всех загадочных явлений; что и при волновой теории в тогдашней оптике оставались темные места, на которые можно было указать как на аргументы против этой гипотезы. *Теория цветов, например, оставалась для нее камнем преткновения, и даже возможность прямолинейного распространения света исключалась, по мнению некоторых, волновой теорией.* Прямолинейное распространение света через светлое отверстие в темной комнате Гюйгенс объясняет следующим образом: когда свет проникает через светлое отверстие в темную комнату, то, разумеется, из каждой светящейся точки в отверстии будет распространяться в комнате волна; но эти парциальные волны, выходящие из отдельных точек отверстия, хотя и распространяются вне прямолинейного (освещенного) пространства, но сойтись друг с другом или встретиться они могут только прямо впереди отверстия, поэтому только здесь они производят ощущение света. «Это обстоятельство было неизвестно тем, которые впервые рассматривали световые волны, как, например, Гук в своей «Микрографии» и «Пардиз». Если эти объяснения страдают некоторой неопределенностью, то еще труднее было для Гюйгенса, бед *ясного представления об интерференции света*, объяснить происхождение цветов при дифракции¹, при прохождении света сквозь тонкие пластинки и т. д. Поэтому он прибегнул к наиболее удобному, но вряд ли извинительному способу выйти из затруднения — просто обошел молчанием в своем трактате теорию цветов. Это было, по всей вероятности, од-

¹ Явления дифракции и впоследствии обращали на себя тем менее внимания, чем труднее становилось их истолкование. Маральди (1665—1729, Mem. Par., 1723) в своих опытах не пошел дальше Ньютона. С'Гравезанд («Elementa physices», т. II, кн. 5) заметил, что цветные полосы появляются не только в тени предмета, но и в свете очень узкой щели. Оставаясь на точке зрения Ньютона, он объяснял эти полосы притяжением светового вещества краями щели.

242 РАЗЛИЧНЫЕ СТОРОНЫ СВЕТОВОГО ЛУЧА

ной из причин, почему Ньютон и его последователи при их неоспоримых заслугах в этой области оптики отнеслись с пренебрежением к гипотезам Гюйгенса.

Помимо отсутствия теории цветов, в сочинении Гюйгенса встречается еще один пробел, уже прямо касающийся самой волновой теории. Я имею в виду следующее явление, открытое Гюйгенсом на исландском шпате, но не объясненное им. Если главным сечением ромбоэдра назвать плоскость, проходящую через главную ось кристалла и одно из ребер ромбоэдра, то, наложив два ромбоэдра исландского шпата друг на друга так, чтобы их главные сечения были параллельны, мы увидим, что световые лучи, идущие от нижнего ромбоэдра, проходят через верхний не изменяясь; но если повернуть один из кристаллов так, чтобы оба главных сечения были перпендикулярны друг другу, то обыкновенный луч нижнего кристалла превращается верхним кристаллом в необыкновенный, и, наоборот; при каждом же косвенном положении главных сечений каждый луч, выходящий из нижнего кристалла, разлагается в верхнем на два луча. Упомянув об этом явлении, *Ньютон замечает, что световой луч может иметь различные стороны и, соответственно им, представлять неодинаковые свойства.* Для объяснения явления поляризации света волновой теорией эта мысль оказалась впоследствии необыкновенно плодотворной; у самого же Ньютона она была просто новым вынужденным гипотетическим свойством световых лучей, оставленным без дальнейшего применения. Но и Гюйгенс не сумел объяснить этого явления именно в этом пункте. Он, как мы знаем, принял, что *колебания светового эфира, подобно колебаниям воздуха при звуке, происходят по направлению распространения волны.* Такое предположение не позволяло видеть, каким образом световой луч может с разных сторон обнаружить различные свойства, и потому объяснение вышеупомянутых замечательных явлений Гюйгенсу не удалось. Лишь при возрождении волновой теории в нашем столетии ошибка Гюйгенса была исправлена гипотезой, что *колебания эфира происходят во всех возможных направлениях, перпендикулярных к линии распространения светового луча.* Таким образом мысль Ньютона о различных сторонах светового луча получила право на существование только при посредстве враждебной ему теории.

Одновременно с теоретическими исследованиями в области оптики Гюйгенс очень много занимался и работами практического характера. В 1660 г. он изобрел новый способ шлифовки стекол и вместе со своим братом Константином изготовил по этому способу *чечевицы значительных размеров.* Так как, однако, такие чечевицы требовали слишком длинных зрительных труб, которыми трудно было управлять, то он исключил из аппарата трубу, укрепив стекла на длинном стержне. Первая вполне практичная *воздушная зрительная труба* была им устроена в 1684 г. В сочинении «Cosmotheoreos» (Гаага, 1698), Гюйгенс описал также новый *прибор для измерения яркости света* и при его помощи нашел, что солнце в 27 664 раза светлее Сириуса.

В это время вообще усердно занимались *усовершенствованием оптических инструментов и в особенности телескопов.* В Италии изготовлением чечевиц большой фокусной длины прославился *Дивини* (около

1660 г.) и еще более *Кампани* (около того же времени); во Франции — *П. Борель* (1620—1689) и *А. Озу* (ум. в 1691 г.); в Англии — *Нейль, Рейв и Кокс*; в Голландии — *Н. Гартсектор* (1656—1725), а в Германии главным образом *Чирнгаузен*. «Философ, математик и физик», граф Э. В. Чирнгаузен (1651—1708) устроил в своих поместьях особые стеклянные заводы и мельницы для шлифовки оптических стекол. При посредстве подобной чечевицы, приготовленной Чирнгаузенем, *Аверони* и *Тарджиони* произвели первые опыты сжигания алмазов (1694 и 1697 гг.). Он же шлифовал большие зажигательные зеркала, из которых самое большое было сделано в 1687 г. Оно было сделано из меди, вдвое толще спинки обыкновенного ножа, имело в диаметре 3 лейпцигских локтя и 2 локтя фокусной длины. При помощи этого зеркала плавил металлы, прожгли саксонский талер в 5 или 6 минут и покрывали глазурью кирпичи и земли ¹. Зеркало Чирнгаузена хранится до сих пор вместе с другими зажигательными зеркалами и стеклами в Королевском музее в Дрездене ².

Теоретическое значение имеют исследования *фокусных линий*, впервые напечатанные Чирнгаузенем в 1682 г. в «Acta eruditorum». Форма фокусных линий для чечевиц была впервые описана Барроу в «Lectiones opticae»; Чирнгаузен определил ее и для сферических зеркал. Построение его оказалось неточным; он сам признал позднее свою ошибку и исправил ее в 1690 г. *Иоганн и Яков Бернулли* (1692—1693) и *Лопиталь* (1716) значительно расширили его исследования; Якову Бернулли принадлежат названия диа- и катакаустических кривых. Гюйгенс тоже занимался этими вопросами и правильно определил фокусные линии вогнутого зеркала для параллельно падающих лучей. Свои исследования он изложил в своем трактате 1690 г.

Нам остается еще упомянуть приложенное к «Оптике» Гюйгенса его рассуждение о причине тяжести: «Discours de la cause de la pesanteur». В этом рассуждении он утверждает, согласно с мнением Ньютона и в противоположность своим прежним собратьям по французской академии, что *земля сжата у полюсов*. Из формулы, приложенной к его «Horologium oscillatorium», он вычислил центробежную силу у земного экватора в $1/289$ силы тяжести; он обратил внимание на то, что в 17 раз большая скорость вращения земли совершенно уничтожила бы тяжесть у экватора, и подобно Ньютону, вывел из центробежной силы необходимость сжатия земли. *Гюйгенс вычислил сжатие в $1/578$, Ньютон же получил более верную дробь $1/230$* . Зато Гюйгенс дал наглядное доказательство сжатия вращающихся шаров, насадив мягкий глиняный шар на вертикальную ось и приведя его во вращательное движение. В том же приложении он утверждает, что картезианские вихревые движения не в состоянии объяснить тяжести по следующим причинам: 1) центробежная сила тяжелых жидкостей толкала бы тела не к центру земли, а к оси вихря; 2) для того чтобы эфирная масса могла сообщать земным телам движение тяготения, вращение вихря должно быть в 17 раз скорее вращения земли; 3) согласно картезианской гипотезе более

¹ Fischer, „Gesch. d. Physik," VII, 180.

² Gerland, Leopoldina, XVIII, 1882.

244 СПОР О МЕРЕ СИЛЫ

плотные тела должны были быть легче, а менее плотные — тяжелее. Гюйгенс поэтому попробовал придать эфиру другое более целесообразное движение, но тоже не смог придти к удовлетворительному построению.

В том самом году, когда Ньютон окончил свои «Начала», возник другой спор о силе, возбудивший в широких кругах не менее живой интерес, чем теория притяжения, и подобно ей, не решенный ни в ту, ни в другую сторону. Философ и математик *ЛЕЙБНИЦ* поместил в «Acta eruditorum» в 1686 г. трактат под заглавием: «Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari». В этом трактате он утверждал, что *величина силы измеряется не произведением массы на скорость, а произведением массы на высоту падения, обуславливающей эту скорость или, что одно и то же, произведением массы на квадрат скорости. Декарт, следовательно, ошибался, предполагая, что при всех изменениях во вселенной количество движения всегда остается неизменным; в действительности же произведение массы на квадрат скорости — вот что сохраняется при всех изменениях.* За названным сочинением последовало в 1695 г. другое, озаглавленное: «Specimen dynamicum pro admirandis naturae legibus circa corporum vires et mutuas, actiones detegendis et ad suas causas revocandis». Здесь Лейбниц рассматривает различие между *живыми и мертвыми силами*. Мертвыми он называет такие силы, которые не производят движения, но обладают только стремлением к последнему; для них верна картезианская мера силы, а именно: произведение массы на скорость, которую стремятся произвести силы или произвели бы в первый момент времени. Для таких же сил, которые производят действительные движения, где скорости вследствие повторных импульсов постоянно суммируются, следует применять новую меру. Оба эти положения Лейбница были вызваны специальными механическими работами того времени и представляли лишь обобщение начал, положенных в основание этих работ. Первое положение было навеяно *законом виртуальных скоростей*, находившим уже широкое применение, причем действие сил определялось скоростями, которые они произвели бы при возможных движениях. Второе положение основывалось на последних исследованиях движения маятника, при которых Гюйгенс предполагал, что тело маятника вследствие приобретенной им скорости должно подниматься на ту самую высоту, с которой оно упало.

Картезианцы всячески защищались против обвинений, возводимых на их учителя. Они продолжали настаивать на количестве движения как мере силы и правильно возражали Лейбницу, что отвергать эту меру можно лишь в том случае, если не принимать в расчет времени; и далее, что *количество движения представляет вполне правильную меру сил, если только принимать в расчет время, в течение которого сила произвела данное количество движения.* Спор получил дальнейшее распространение в течение первых десятилетий XVIII столетия. Папин, Кларк, Меран и др. высказывались против Лейбница; И. Бернулли, СГравезанд, Герман, Вольф — за него; маркиза дю-Шатле и ее друг Вальтер примкнули к противоположным партиям, а великий немецкий философ Кант

ЛЕЙБНИЦ И ВОПРОС О СОХРАНЕНИИ СИЛЫ 245

своим юношеским произведением, напечатанным в 1747 г. («Gedanken von der Schätzung lebendigen Kräfte in der Natur»), вызвал следующую эпиграмму со стороны Лессинга: «Kant untenimmt ein schwer Geschäfte der Welt zum Unterricht. Er schätzt die lebendigen Kräfte; nur seine schätzt er nicht»¹.

Вопрос принял постепенно туманно-метафизический оттенок, благодаря главным образом загадочности, заключающейся даже для нас в понятии о силе. В самом деле, если под силой разумеется только способность движущегося тела преодолевать препятствие, то тут не принимается в расчет время, необходимое для действия. В таком случае лейбницева мера должна быть, по крайней мере, пропорциональна действительной величине силы, потому что способность эта, подобно производимой работе, равна половине произведения массы на квадрат скорости. Но если под силой понимать действующую причину, сообщившую данному телу его движение, то при оценке ее, всегда принимается в расчет время, употребленное на достижение этого действия, и сила измеряется количеством движения, произведенным за известное время, или, как теперь выражаются, — произведением массы на ускорение. В этом смысле уже Ньютон принимал ускоряющую центральную силу пропорциональной скорости, достигнутой за известное время, а движущую центральную силу пропорциональную полученному количеству движения; Галилей же еще раньше измерял силы вызванными ими скоростями. Таким образом спор мог иметь место только вследствие двоякого толкования слова «сила»; по этой причине математическая механика, строго ограничиваясь формулами, могла держаться в стороне от вопроса о мере сил, и д'Аламбер имел право изгнать его из области науки как праздную игру слов. Но вследствие такого отношения и второй вопрос, о сохранении силы, имевший наибольший общий интерес, остался нерешенным, а только отложенным до другого времени. Относительно сохранения силы можно было в ту пору устанавливать только метафизические законы; обсуждение его на физической почве было еще немыслимо, потому что не существовало ни закона, ни даже отдаленного предчувствия, превращения сил, например внешних механических сил во внутренние молекулярные силы, теплоту и т. д. Во всяком случае, этот спор вызвал весьма интересные замечания со стороны Лейбница. Он обратил внимание, что при ударе неупругих тел теряется живая сила, и высказал предположение, что она поглощается мельчайшими частицами тел. О возвращении этой утраченной части силы в форме теплоты Лейбниц еще не думал, хотя и говорит: «То, что поглощается мельчайшими атомами, не теряется, безусловно, для вселенной, хотя и теряется для общей силы сталкивающихся тел». Впрочем, это многообещающее положение представляет собой не начало, а скорее заключительный вывод одного философского трактата того времени и имеет не физическую, а метафизическую основу.

Готфрид Вильгельм фон-Лейбниц, родившийся 21 июня 1646 г.

¹ „Кант берет на себя трудную задачу просвещения мира. Он измеряет живые силы, но не знает меры своих". Lessing's Sämmtl. Werke (Cotta u. Kroner) T. I, стр. 57.

246 ЛЕЙБНИЦ. МОНАДОЛОГИЯ

в Лейпциге, изучал в Лейпциге и Йене право, а вместе с тем философию и математику у известного йенского профессора *Вейгеля* (1621 — 1699). Во время путешествия в Париж и Лондон с 1672 по 1676 г. он познакомился с замечательнейшими математиками и натуралистами обеих столиц, с картезианцем Арно, Гюйгенсом, Коллинсом, Ольденбургом, Бойлем, а проездом через Голландию он посетил и Спинозу. В 1676 г. он стал директором Ганноверской библиотеки и в этом городе умер 14 ноября 1716 г.

Еще в начале семидесятых годов XVII столетия Лейбниц вполне сходил с Декартом во взглядах на сущность материи и настаивал на том, что в телах существует только величина, форма, движение и нет никаких скрытых свойств, сил и вообще ничего такого, чего бы нельзя было объяснить механически. Он, однако, не был картезианцем; по его мнению, и в натурфилософии Аристотеля заключается много такого, что при правильном истолковании может оказаться верным; относительно же существования или не существования пустого пространства он еще колебался. *Но вот в 1684 г. Лейбниц выступает с предостережением против слишком широкого применения картезианских начал; и 1686 г. появляется в печати его первое возражение против Декарта, и с этих пор начинается развитие его системы в духе прямо противоположной системе французского философа.* По всей вероятности в этом повороте мнений немалую роль сыграла оппозиция против атеиста Спинозы¹, сводившего, по примеру Декарта, сущность материи к одному протяжению: доказательством этого служит замечание самого Лейбница, что без признания силы в материи нельзя избежать спинозизма. С 1686 г. Лейбниц начал излагать в письмах, а с 1690 г. помещать в журналах основы своей системы монад и предустановленной гармонии. Он указывал, что нет возможности открыть причину истинного единства (природы) в одной материи или в том, что только пассивно. *Истинные единицы или простые субстанции определяют понятием силы. Отсюда всякая монада (единичное существо) наделена, наряду с пассивной силой сопротивления, и активной силой, проявляющей свое действие, лишь только удалены препятствия; так, натянутая тетива лука требует только освобождения, чтобы обнаружить свое действие. Материя есть необходимое следствие силы. Сила же имеет две стороны, активную и пассивную. Пассивная есть сила сопротивления или инерция; активная есть душа материи, присущее ей по природе стремление к движению.* Но хотя субстанция и состоит исключительно из силы, тем не менее, никогда не удастся составить себе чувственного представления о силе или получить возможность продемонстрировать ее на опыте. *Никакой анализ не откроет нам источника всей мировой деятельности; сила есть не физическое, а метафизическое понятие.*

Этим мы, с одной стороны, значительно приблизились к сфере понятий последователей Ньютона, защищавших всеобщее тяготение как общее свойство материи; с другой стороны, здесь налицо еще значительное расхождение, так как Лейбниц своему понятию о силе придает

¹ Baruch Spinoza (1632—1677): *Renati Cartesii principia philosophiae* (1663); *Opera posthuma*, вместе с "Этикой" (1677).

ГИГРОМЕТР. БАРОМЕТР. ТЕРМОМЕТР 247

одно *метафизическое*, а не *физическое* значение и не защищает действия на расстоянии даже с *метафизической* точки зрения. Напротив, *деятельная сила* одной монады никогда не действует на другие монады иначе, как *исключая их из себя и, следовательно, прямо ограничивая их*. В этом отношении у Лейбница, как и у Декарта, возможно только непосредственное действие. Но раз Лейбниц предположил в материи присущее ей стремление к движению, последователи Ньютона могли решиться соединить такое стремление к движению с действием на расстояние и объяснить им последнее.

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

В то время как математические физики занимались преимущественно разработкой ньютоновских начал, экспериментальные физики работали над усовершенствованием метеорологических инструментов, и в этом отношении особенно выдавался Амонтон. *ГИЛЬОМ АМОНТОН* (1663—1705) родился, жил и умер в Париже. В 1687 г. он представил Парижской академии сделанный собственноручно гигрометр, представлявший полый шар из овечьей кожи, растягивавшийся в сыром воздухе и сокращавшийся в сухом. В 1695 г. он издал специальное сочинение о метеорологических инструментах под заглавием «*Remarques et experiments physiques sur la construction d'une nouvelle clepsydre, sur les baromètres, thermomètres et hygromètres*»; вероятно, благодаря этому сочинению он и был принят в члены академии в 1699 г. Амонтон описывает *два барометра, очень остроумные по идее*: один, состоящий из трубки, изогнутой много раз, мог быть сделан значительно короче обыкновенного барометра, а в другом трубка была коническая, благодаря чему он должен был сильнее обычного барометра выявлять колебания воздушного давления. В 1703 г. Амонтон изложил в мемуарах Парижской академии *изобретение открытого воздушного термометра*, в котором теплота измерялась упругостью заключенного в приборе воздуха, и одновременно исключалось влияние изменения воздушного давления, даваемого барометром. Вследствие значительной длины, сложности приемов отсчитывания и трудности переноски Амонтон сам считает этот прибор пригодным лишь в качестве нормального термометра для проверки по нему других. Впрочем, все его инструменты, несмотря на оказанный им благосклонный прием, не употреблялись в практике, так как заключали в себе источники значительных ошибок. Но, с дру-

248 ПОПРАВКИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В БАРОМЕТРАХ

гой стороны, Амонтон, занимаясь сам приготовлением приборов и работая с ними, оставил после себя важные практические указания, которыми впоследствии воспользовались для устройства более совершенных приборов. Ему было вполне известно (наблюдавшееся, впрочем, и ранее) *постоянство температуры кипения воды, и он первый нанес ее как постоянную точку на шкалу своего воздушного термометра.* При помощи последнего он нашел два важных закона, касающихся упругости воздуха: *при равном давлении упругость воздушных масс возрастает пропорционально сообщенным им количествам тепла; при равной температуре упругость воздушных масс возрастает пропорционально увеличению давления.*

Амонтон сделал еще другое очень важное для барометрических наблюдений указание. Он установил, что ртуть расширяется на $\frac{1}{115}$ своего объема, когда температура переходит от наибольшего зимнего холода к наивысшему летнему теплу в Париже. Отсюда он вывел, что *в барометрические высоты нужно вносить поправки на температуру*, чтобы не приписывать изменению воздушного давления того, что вызвано изменением температуры ¹, и составил таблицу таких поправок. Но его поправки не имели еще тогда практического значения, так как в тогдашних барометрах имелись источники других еще больших ошибок, так что отдельные инструменты очень редко давали согласные показания. *Происходило это главным образом оттого, что барометры тогда не подвергались кипячению*, поэтому торичеллиева пустота всегда получала от ртути некоторое количество воздуха, большая или меньшая упругость которого при различных температурах производила различное давление на ртуть. Сам Амонтон этого источника ошибок и не подозревал. Однажды он получил барометр, который давал по сравнению с другими приборами и с его собственным барометром разницу почти в 19 линий. Амонтон высказал предположение, что, вероятно, размеры и количество пор, пропускающих сквозь себя воздух, в разных стеклах неодинаковы; но конструктор этого барометра *Вильгельм Гомберг* (1652—1715), член Парижской академии,— правда, спустя год после смерти Амонтона, — сообщил, что он имел обыкновение выполаскивать барометрические трубки перед наполнением их ртутью, алкоголем, пары которого в них, вероятно, и оставались.

Амонтон пытался *измерять температуры выше точки кипения воды.* С этой целью он накаливал с одного конца железную полосу, наблюдал в нескольких местах повышение температуры по мере перехода от холодного конца к горячему и вычислил температуры для всех точек полосы, исходя из предположения, что температура возрастает в арифметической прогрессии. Амонтон изложил свои взгляды по этому вопросу лишь в виде примечаний к статье, появившейся в «Philosoph. Transact.» 1701 г. ² В этой статье Ньютон описывает прием, сходный с амонтоновским, но для нарастания температур он принимает более

¹ „Que tous les baromètres agissent non seulement par le plus ou moins de poide de l'air, mais encore par son plus ou moins de chaleur". („Par. Mém.", 1704).

² „Remarques sur la table des degres de chaleur extraite des Transact. philos. de 1707" („Par. Mem.", 1703).

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР. ТРЕНИЕ 249

правильный закон, допуская, что температуры возрастают как ординаты логарифмической кривой. Впрочем, для температуры до 600° разница в результатах, вычисленных по тому и другому правилу, не очень значительна. По-видимому, около этого времени Ньютон тоже много занимался теплотой. Он пытался доказать теоретически, что шар теряет теплоту путем излучения в геометрической прогрессии, когда время нарастает в арифметической, и построил для своих опытов особенный термометр. Этот прибор был наполнен льняным маслом; постоянными точками шкалы служили температура таяния льда и температура человеческого тела; первая была обозначена нулем, а вторая 12; температуре кипения воды соответствовало, следовательно, число 34¹. В своих «Началах» Ньютон считает температуру кипения воды в 7 раз выше температуры самого теплого летнего дня.

В 1699 г. в мемуарах Парижской академии появилось исследование Амонтона по вопросу, который до тех пор оставался почти незатронутым в механике. До этого времени очень мало занимались трением тел, принимая без дальнейших доказательств, что величина трения пропорциональна поверхности трения. В своих опытах Амонтон помещал тела на горизонтальную плоскость, прикреплял к ним шнур, шедший параллельно плоскости трения, перекидывал его через блок и к свободному концу шнура прикреплял чашку весов. Наблюдая, какие грузы требовались при разных условиях для того, чтобы привести в движение тела, он заметил, к собственному удивлению, что *величина грузов зависела не от величины трущейся поверхности тела, а от веса последнего*. Чтобы доказать это положение как можно нагляднее, он придал перемещаемому телу форму неравностороннего прямоугольного параллелепипеда и показал, что величина трения остается неизменной, будет ли положено тело на плоскость более узкой стороной или более широкой. Эти исследования были встречены очень сочувственно и вскоре нашли продолжателей. Механик *Лейпольд*² подтвердил выводы Амонтона собственными опытами, *Паран* старался обосновать результаты теоретически, а Лейбниц сделал дальнейший важный шаг, указав на *разницу между трением при скольжении и при качении*.

С *ГАЛЛЕЕМ* мы уже встречались во многих областях физики; но нигде он не проявил столько самостоятельности и смелости мысли, как в наблюдениях и теоретических работах по вопросу о *земном магнетизме*, которым он занимался с 80-х годов XVII столетия до начала XVIII в. В 1683 г. появилась в «Philos. Transactions»³ его «Таблица магнитных склонений» для многих мест на земле, преимущественно за период 1670—1680 гг., но также много наблюдений за период с 1640—1650 г. и за еще более ранние годы. Из этих наблюдений он сделал тот вывод, что в данное время в Европе и на восточном берегу Северной Америки склонение западное, и что в промежутке должно быть место, где оно восточное или даже равно нулю. Такие склонения он считал возможным объяснить не иначе, как принятием четырех магнитных полюсов в земле, двух у северного и двух у южного. В другой статье

¹ Fischer, „Gesch. d. Phys.“, III, стр. 227.

² Theatrum machinarum generall (Лейпциг, 1723—1727).

³ «Theory of the variation of the magnetical compass».

250 МАГНИТНОЕ СКЛОНЕНИЕ

1692 г.¹ он пользуется своей теорией для объяснения изменчивости склонений в одном и том же месте земной поверхности. С этой целью он представляет себе землю состоящей из наружной твердой коры, плотного центрального ядра и слоя жидкого вещества между ними. Два магнитные полюса находятся в коре, а другие два в ядре. Затем он принимает, что ядро и кора вращаются около общей оси с неодинаковой скоростью — ядро настолько медленнее, что за 700 лет оно отстает на один полный поворот. Отсюда ясно, что во всех местах земной поверхности магнитное склонение, производимое полюсами ядра и коры, должно постоянно изменяться, представляя правильные периоды в 700 лет. Чтобы проверить свою теорию, Галлей предпринял в 1698—1702 гг. три поездки в Атлантический океан на корабле, предоставленном ему правительством. При этом он напал на счастливую мысль отмечать на карте места равных склонений и соединять их прямыми линиями, чтобы облегчить труд нахождения и сравнения склонений в разных местах земного шара. Эта первая карта *изогонических линий* появилась в 1701 г.² Четыре магнитные полюса Галлея нашли многих приверженцев, но, конечно, и много противников, которым гипотеза Галлея показалась слишком фантастичной. К числу последних принадлежал, прежде всего, *Леонард Эйлер*, старавшийся вывести изогонали Галлея из не вполне симметричного положения только двух магнитных полюсов. *Ламонтр уже ранее того*³ пытался объяснить изменчивость склонений на *картезианский лад*, предполагая, что частицы элементов первого порядка, потоки которых порождают магнитные явления, не поспевая за движениями земли вокруг ее оси и вокруг солнца, вращаются около двух осей или около одной средней, которая обходит земную ось кругом и никогда не совпадает с ней. Вообще *в то время, да и долго еще спустя в теориях магнетизма господствовало учение Декарта*. *Далансе*⁴ принимал лишь с небольшим отклонением от Декарта, что определенное направление движения тонкой материи, пронизывающей землю и магнит, обусловливается существованием клапанов, а *Гартсекер*⁵ предполагал магнит состоящим исключительно из призм, через которые тонкая материя проталкивается всегда в одном направлении вращением земли. Доказательством того, что и Галлей придерживался подобной теории истечения, служит его объяснение *северного сияния*. Когда в 1716 г. значительное северное сияние в Германии, Франции, Англии и Голландии напомнило о себе ученым, Галлею показалось, что *уклонение дуги северного сияния от географического севера приблизительно равно соответствующему склонению магнитной стрелки*; поэтому он высказал мысль, что *северное сияние производится магнитным истече-*

¹ «On the cause of the change of the variation of the magnetic needle with an hypothesis of the structure of the internal parts of the earth». («Phil. Trans.», 1692).

² «A general chart shewing at one view the variation of the compass» (Лондон, 1701).

³ «Journal des savants», XXIV, 1689.

⁴ «Traite de l'aimant», 1687.

⁵ «Principes de physique», 1696.

МОЛНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИСКРА 251

нием у северного полюса, направляющимся вокруг земли к южному полюсу. Галлей попытался объяснить эти истечения несколько иначе чем Декарт, допустив, что между корою и ядром существует жидкое вещество, обладающее способностью светиться и по временам прорывающееся через тонкие места коры наружу. Сам Декарт не ставил северного сияния в связь с магнетизмом и объяснял его *отраженным блеском полярных ледяных масс* (это объяснение было однажды выдвинуто и в новейшее время). Другие, как например, *Вольф* («Acta erudit», 1716), считали северное сияние *истечением горючих паров из внутренних пустот земли* не вполне, однако воспламенившихся и потому не представляющих собой молнии.

В то время было еще широко распространено мнение, что *молнии* — не что иное, как *мгновенно воспламеняющиеся истечения серных или селитренных паров*; но в умах у некоторых начала уже зарождаться догадка о *связи между молнией и электрической искрой*. В 1700 г. некто д-р *Валь* сообщил ¹ о следующем наблюдении: из большого куска натертого янтаря он извлек искру с треском, вызвавшую заметное ощущение в пальце, что заставляет его думать, что свет и треск искры представляют собой подобие молнии и грома. Впрочем, этот же самый *Валь* имел очень смутные представления об электричестве, так как на упомянутое наблюдение он был наведен опытами над фосфоресцирующими телами, бывшими между учеными в большом ходу со времени наблюдения болонского сапожника *Каскариоло*. *Валь* считал именно свечение фосфоресцирующих тел причиной электричества.

Вслед за *Бойлем* члены Королевского общества от времени до времени обращались к опытам по электричеству. *Ньютон* наблюдал в 1675 г., что натертая стеклянная пластинка притягивает и отталкивает кусочки легкой бумаги, так что их можно заставить прыгать на столе, держа над ними пластинку. *Гауксби* произвел в начале XVIII столетия много опытов по электричеству, но не подвинул значительно вперед этого учения. Он изложил свои работы в «Philos. Trans.», а потом собрал их в сочинении «Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity etc.» (Лондон, 1709). И он перешел к электричеству от явлений фосфоресценции (по крайней мере, считавшихся такими). *Пикар* первый заметил в 1675 г. *свечение ртути в торическельевой пустоте, когда он сильно встряхивал барометр в темноте*. Вслед за ним многие стали заниматься этими наблюдениями. Явление это объясняется существованием у ртути особенного фосфора, который называли *меркуриальным фосфором*. Крупнейшие ученые вступали в споры по поводу барометрического свечения и долго не могли придти не только к объяснению его, но и к надежному способу получения меркуриального фосфора. В 1700 г. *Иоганн Бернулли* ², полагая, что нашел способ изготовлять светящиеся барометры, сообщил об этом Парижской академии. Но его рецепты оказались недостигаемыми цели; так же мало помогли делу и дальнейшие пояснения *Бернулли* в письмах от 1701 г. В 1706 г. французский врач *Дюталь* защищал

¹ «Philos. Trans.», XXVI, № 314.

² «Nouvelle maniere de rendre les baromètres lumineux» («Mem. Par.», 1700).

252 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ ГАУКСБИ

способ Бернулли, а в 1710 г. Гартсекер утверждал, что толку в нем мало, так как все зависит от сорта стекла, чистоты ртути и содержания в ней воздуха. В 1717 г. Бордоская академия выдала премию за сочинение Мерана ¹, в котором свечение барометра объясняется содержанием в ртути серы. Но уже из опытов Гауксби тогда ясно вытекало, что барометрическое свечение есть чисто электрическое явление, каковым его считают и теперь.

Собственные электрические опыты Гауксби были и многочисленны и разнообразны. Он заметил, что из стекла, как из янтаря, при натирании шерстяной материей исходит свет. Стекланный шар, из которого был выкачен воздух, он приводил в быстрое вращательное движение и, натирая его, подобно Герике, рукой, он получал столь сильное свечение, что предметы освещались на расстоянии 10 футов. Приближая палец к шару, он получал искры *почти в дюйм длиной*; одновременно он ощущал своеобразное давление в пальце и слышал треск. При этих опытах Гауксби выкачивал из шара воздух, конечно, по аналогии с ртутным фосфором, но он наблюдал это же явление и без выкачивания воздуха, только в более слабой степени. Кроме шаров Гауксби, по-видимому, первый стал употреблять для электризации *длинные стеклянные трубки*. Когда их в наэлектризованном состоянии передвигали близко от лица, они производили ощущение, как будто по коже проводят пучком волос. Электризации подвергались шары из серы и смолы и смеси этих тел с глиной. При этом выяснилось, что *шары из разных веществ наэлектризовываются не в одинаковой степени; но различия между электричеством стекла и смолы Гауксби не открыл*. Далее, он заметил, что *стеклянные трубки, сильно приближенные к наэлектризованным шарам, в свою очередь издают слабый свет*; что многие тела, например металлы, трением не электризуются; что влажность мешает электрическому действию, а нагревание усиливает его. *Все эти явления он объяснял теорией истечений*. Влажность препятствует электрическим истечениям и этим ослабляет электричество. Истечения переходят, конечно, с электрического тела на неэлектрическое: оттого ненаэлектризованные тела светятся вблизи наэлектризованных. Новы и интересны были у Гауксби, прежде всего более сильные электрические действия, чем у его предшественников, например *длинные ясные искры, значительный шум при истечении электричества, и свечение внутри наэлектризованных шаров*, имевшее сходство со свечением ртути фосфора.

Вслед за членами Королевского общества начали заниматься электричеством и члены Парижской академии, например, Иоганн Бернулли и Кассини младший. Но все их труды в этом направлении доказали лишь одно: что опыты без руководящей идеи и без обобщающих теорий, хотя бы и гипотетических, способны лишь накапливать материал, который зачастую оказывается почти лишним значения даже для последующего времени.

¹ «Dissertation sur la cause de la lumiere des phosphores et des noctiluques Бордо, 1717.

ПАРОВЫЕ МАШИНЫ 253

Упомянув здесь имя Галлея в последний раз, мы укажем еще на его заслуги в области физики земли, которою он много занимался. В 1719 г. он показал, что *огненные метеоры* ввиду их громадной высоты, величины и скорости не принадлежат к нашей атмосфере и представляют собою космические тела, притягиваемые землей ¹. Он пытался определить количество тепла, получаемого от солнца определенным местом земной поверхности, принимая, что эта величина пропорциональна синусу угла высоты солнца над горизонтом и продолжительности освещения. Галлей оспаривал мнение о существовании подземного стока из Средиземного моря в Красное, объясняя колебание уровня воды в первом из них ее испарением. Наконец, *поднятие водяных паров в воздухе* он объяснял тем, что пары состоят из мелких полых пузырьков, наполненных разреженным воздухом. Такого же мнения придерживался Дергам («Physico-theology», Лондон, 1713), который даже уверял, что видел в лупу пузырьки испаряющейся воды. Вольф вычислил разрежение воздуха в пузырьках пара («Nützliche Versuche», 1721—1723).

С тех пор, как Герон устроил паровой шар, внимание физиков по временам обращалось на громадную силу напряженного пара. Но вначале, естественно, эта сила лишь пугала воображение, воспользоваться ею для полезных целей никому не приходило в голову. Такого рода мысль стала серьезно занимать умы лишь в начале XVIII столетия, в форме решения частной задачи *выкачивания из шахт воды силою собственных ее паров*. Большинство изысканий велось в течение XVII столетия именно в этом направлении, и первая *паровая машина* была приспособлена только для этой цели. При той важности, какую впоследствии приобрела паровая машина, не удивительно, что ученые разных стран из патриотического чувства старались приписать честь ее изобретения своим соотечественникам. В самом деле, *стоит лишь соответственно цели более или менее расширить понятие о паровой машине, как любому человеку, высказавшему мысль об утилизации пара как двигателя, можно приписать честь первоначального ее изобретения*. Если же считать, — как то и следует, — первой паровой машиной такую, которая была в состоянии более или менее долгое время производить целесообразную работу и которая послужила вместе с тем исходным типом, из которого постепенно развились современные машины, то годом изобретения будет 1705 г., а изобретателями будут англичане. Впрочем, немцы и французы правильно указывают на важное значение их подготовительных работ в этом направлении.

Первый, описавший в XVII столетии машину для поднятия воды, был *Соломон де-Ко* (с 1576 г. до 1630 приблизительно), родившийся, вероятно, во Франции, но с 1612 до 1620 г. состоявший на службе строителем и инженером у Фридриха ² V Пфальцского. В своем сочинении «Les raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tout utiles que

¹ Вольф считал огненные шары, подобно молнии, воспламененным веществом. Уистон держался такого же мнения, Гартсекер и Валлис считали их прямо кометами.

² Poggendorf, «Gesch. d. Phys.», стр. 538 и 539.

254 ПАРОВЫЕ МАШИНЫ. УОРЧЕСТЕР СЭВЕРИ

plaisantes auxquelles sont adjoints plusieurs desseings des grottes et fontaines» (Франкфурт, 1615) он описывает полый железный шар с вводной трубкой для жидкости сбоку и выводной вертикальном, по которой поднимается вода до поверхности земли. Первая трубка после наполнения шара водой запирается, а вторая проходит по шару почти вплоть до дна. Если поставить этот шар на огонь, то пары, не имея выхода, поднимают воду по выводной трубке кверху. На основании этих данных *Араго* уже готов считать *де-Ко* изобретателем паровой машины. Хотя с этим согласиться нельзя, но следует все-таки признать, что паровой шар *де-Ко* представляет предшествующую ступень к машине, устроенной *Эдвардом Сомерсетом* маркизом Уорчестерским. В 1663 г. в Лондоне появилась небольшая брошюра последнего под заглавием: «A century of the names and scantlings of such inventions as at present I can call to mind to have tried and perfected». Здесь под № 68 упоминается машина, которая способна непрерывно поднимать любое количество воды на любую высоту. В том же 1663 г. маркиз получил привилегию на эту машину для себя и своих наследников на 90 лет. В 1667 г. в дневнике путешествия, совершенного по Англии сыном тосканского герцога Фердинанда II, Косьмой, упоминается о гидравлической машине Уорчестера в Лондоне, поднимающей воду на высоту 40 футов. К сожалению, изобретатель в своей книге описал устройство машины лишь в общих чертах. Предполагают, что она состояла из парового котла с двумя выводными трубками, запирающимися кранами; трубки были проведены в два резервуара, и пар вытеснял из последних воду непосредственно в подъемную трубу. Из двух кранов один оставался всегда открытым, так что вода вытеснялась лишь из одного резервуара; другой же в это время наполнялся ею. Большие надежды, возлагавшиеся Уорчестером на его машины, не оправдались; со смертью маркиза в 1667 г. изобретение его было забыто, может быть, впрочем, не вполне, потому что вскоре затем *Томас Сэвери* устроил машину, столь схожую с уорчестеровой, что, должно быть, знал устройство последней (*Дезагюлье* прямо утверждает это). В 1698 г. Сэвери, владелец копей или горный чиновник в Корнваллисе, взял патент на паровую машину, которая состояла, как и у его предшественника, из двух нагнетательных сосудов, с двумя приводными трубками, краны которых управлялись рукою человека. Существенное отличие составляло лишь остроумное клапанное приспособление, благодаря которому каждый сосуд, после того, как он опорожнялся от воды после соответствующего поворота кранов, сам всасывал необходимую для его наполнения воду. Сэвери опубликовал описание своей машины в 1696 г., а затем, получив спустя два года на нее патент, демонстрировал модель этой машины Королевскому обществу и королю Вильгельму в Гэмптон-Корте. В 1702 г. появилось второе описание его машины в сочинении, озаглавленном «The miner's friend».

Около этого времени в Марбурге Папен был занят планами устройства паровых машин, которые значительно быстрее продвинули этот вопрос. Машины Уорчестера и Сэвери были в принципе не чем иным, как героновыми шарами, в которых сжатый воздух заменялся паром; у Папена же основным элементом машины является паровой цилиндр

ПАРОВЫЕ МАШИНЫ. ПАПЕН. НЬЮКОМЕН И КАУЛИ 255

с поршнем, т. е. форма, сохранившаяся и по сие время. Уже в 80-х годах XVII столетия Папен занимался вопросом о *поднятии воды нагретым воздухом*, а в 1690 г. он предложил употреблять для этой цели пар и устроил модель паровой машины, способную производить работу ¹. Она описана в его сочинении: «Recueil de diverses pieces touchant puelques nouvelles machines» (Кассель, 1695). По его мысли в цилиндр с подвижным поршнем наливается немного воды, цилиндр ставится на огонь, и пар поднимает поршень; если затем поршень закрепить на месте, снять цилиндр с огня и освободить поршень, то последний с большой силой втянется в цилиндр обратно ². Отсюда видно, что машина Папена, несмотря на ее высокий теоретический интерес, была с практической стороны выполнена довольно слабо, поэтому заслуга устройства практической машины, действительно пригодной для работы, выпала на долю двух англичан Ньюкомена и Каули, которые, по всей видимости, были знакомы с опытами Папена и воспользовались его идеями.

Торговец железом *Томас Ньюкомен* и стекольщик *Джон Каули* (оба из Дортмута) устроили в начале XVII столетия первую паровую машину, отличающуюся от описываемой в учебниках физики под их именем воздушной паровой машины лишь тем, что сгущение пара производилось не впрыскиванием холодной воды в цилиндр под поршень, а обливанием цилиндра снаружи водой. Привилегию на свою машину они получить не могли из-за патента, выданного Сэвери в 1698 г.; поэтому Сэвери был принят ими в компанию, которая и получила в 1705 г. новый патент. *Первая действительно рабочая паровая машина была изготовлена в 1711 г. в Уольвергэмтоне по заказу некоего Бэка для поднимания воды*. Здесь уже сгущение паров достигалось впрыскиванием внутрь холодной воды, что значительно ускоряло ход машины. Утверждают, что *Гёмфри Поттер* состоял работником при этой первой машине. Рассказывают, далее, что ему, как мальчику, было поручено отпирание и запираение кранов, пускающих попеременно в цилиндр то пар, то воду, и что когда ему наскучило однообразие этих манипуляций, он связал бечевками краны с коромыслом таким образом, что скучную работу рук стало производить коромысло. Время, когда это случилось, неизвестно, но, во всяком случае, вскоре после 1711 г. эти машины появляются уже с придаточным рычагом, заменившим, бечевку Поттера.

Ньюкомен и Каули снабдили паровую машину коромыслом, противовесом для поднятия поршня, приспособлением для сгущения пара холодной водой, и вместе с Поттером — штангой для управления кранами. Они первые создали действительно рабочую паровую машину. Поэтому оспаривать у них заслугу изобретения первой машины нет никакого основания ³.

Паровые машины распространялись вначале туго и служили исклю-

¹ Gerland. Ber. üb. d. histor. App. an d. Londoner Ausstell., 1876, стр. 80.

² Poggendorff, «Gesch. d. Phys.», стр. 549.

³ Оригинальная модель машины Ньюкомена находится в Лондоне, в Королевской коллегии. Gerland, Leopoldina, Heft XVIII, 1882.

256 РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАРОВЫХ МАШИН

чительно для поднятия воды. В 1718 г. Генри Брайтон построил в Ньюкасле на Тайне паровую машину, отличающуюся более совершенной автоматической регулировкой и наличием *предохранительного клапана*. В 1719 г. в Лондоне построили большую машину для поднятия воды из Темзы, а в Германии, по-видимому, первая машина была построена в 1722 г. *Иос. Эмман. Фишером*, бароном фон Эрлахен, для ландграфа Гессен-Кассельского. Около того же времени появились машины в Пасси около Парижа и в Толедо в Испании ¹. Распространению паровых машин в Германии особенно много содействовал механик Лейпольд, тщательно описавший их устройство в своем «Theatrum machinarum generate» (Лейпциг, 1723—1727).

Для производства других механических работ, кроме поднятия воды, паровым машинам не хватало еще привода для вращательного движения и махового колеса. В 1736 г. *Джонатан Гольс* первый предложил снабдить машину обоими названными приспособлениями. В 1758 г. *Фицджеральд* описал еще подробнее, как можно приводить маховое колесо в движение коромыслом и таким образом сделать ход машины более равномерным. Но эти предложения не обратили на себя внимания вплоть до общего переустройства паровой машины *Уаттом*, который, по-видимому, и не слышал о них.

Папен, уже много поработавший над вопросом о паровых машинах, все еще продолжал носиться с планами нового устройства машин. В сочинении «Maniere pour lever l'eau par la force du feu» (Кассель, 1707) он описал устройство новой паровой машины, которая, по крайней мере, по идее, может считаться *первой машиной высокого давления*. В герметически закрытом паровом цилиндре двигался на небольшом расстоянии полый поршень из жестяных листов. На последний сверху давил пар и выталкивал находящуюся под поршнем воду в резервуар с подъемной трубкой; обратное поступление воды отсюда в шаровой цилиндр задерживалось клапаном. Когда поршень опускался до дна цилиндра, работник запирает вход пару в цилиндр и открывает кран в верхней части парового цилиндра. Тогда из водяного резервуара, в котором уровень воды стоял несколько выше наивысшего положения поршня, вода опускалась через трубку с клапаном (открывавшимся в сторону цилиндра) под легкий поршень; последний поднимался, выталкивал накопившийся над ним пар и возвращался в первоначальное положение ². И эта машина, очевидно, не могла конкурировать с воздушной машиной Ньюкомена; но она, тем не менее, способствовала зарождению новой идеи. С 1692 г. Папен находился в очень оживленной переписке с Лейбницем, продолжавшейся вплоть до отъезда Папена из Касселя ³. В письме Лейбница от 4 февраля 1707 г., в котором он благодарит Папена за присылку означенного выше сочинения, имеется замечание, что для уменьшения размеров машины и понижения тепловых потерь поршень можно было бы приводить в движение сжатым и затем согретым воздухом. Герланд видит в этом ясно

¹ Fischer, «Gesch. d. Phys.», III, стр. 255.

² Gerland, «Wiedem. Ann.», VIII, стр. 358 и 359.

³ Изданная Герландом «Leibnitz' und Huyghens' Briefwechsel mit Papin», Berlin, 1881.

ПАРОВАЯ МАШИНА ПАПЕНА 257

выраженную мысль о *тепловой машине*; нам же этого не кажется, и мы считаем несравненно важнее следующее место того же письма: «Наконец, я не сомневаюсь, что если бы вы захотели, то могли бы легко устроить дело так, чтобы краны *E* и *n* попеременно запирались и отпирались самой машиной, без посредства человека»¹. Отсюда следует, что *об автоматическом регулировании машины Лейбниц думал уже в 1707 г.*

Изобретательский ум Папена не успокоился на мысли использовать устроенную им машину для поднятия воды: он думал о том, как бы *привести в движение корабль силою пара*, и, кажется, эти планы были главной причиной отъезда Папена в конце сентября 1707 г. из Касселя в Англию. К сожалению, ему не удалось заинтересовать в Лондоне Королевское общество, относившееся вообще довольно безучастно к вопросу о развитии паровых машин; а с той поры у Папена, по-видимому, иссякли всякие средства для продолжения опытов. *Папен принадлежит к числу тех несчастливых изобретателей, которые, будучи слишком богаты смелыми идеями, не могут ограничиться действительным выполнением хотя бы одного из задуманных планов.* Он хотел *приводить паром в движение* не только корабли, но и *повозки*; делая опыты с *подводным судном*: изобрел *центробежный насос* без кранов и клапанов для непрерывного поднятия воды, а также для накачивания воздуха; и ничто из этих планов не получило практического применения. Даже то единственное, доведенное им до конца изобретение, которое дошло до нас, а именно папенов котел, только в новейшее время стало действительно приносить ту пользу, какой от него ожидал Папен.

Мы видели, что уже *Мерсенн* пытался определить число колебаний струны, что *Гук* делал соответствующие опыты с металлическими колесами и что, наконец, *Витторио Станкари* (1678—1709) представил Болонской академии в 1706 г. колесо трех футов в диаметре с 200 спиц, насаженными по окружности, издававшее тоны, высота которых была пропорциональна скорости вращения. Отсюда было уже легко определить числа колебаний, соответствующие тонам различной высоты; но точных результатов при всех этих опытах все еще не получалось. Последние были впервые даны *Совёром* в его акустических исследованиях.

ЖОЗЕФ СОВЁР родился 24 марта 1653 г. в Лафлеше (департамент Сарты), где его отец был нотариусом. Уже в детстве он проявил много интереса и ловкости к механическим производствам и 17 лет (1670) ушел пешком в Париж попытать счастья. В первое время он, однако, пробавлялся лишь частными уроками по математике. В 1681 г., познакомившись с *Мариоттом*, он помогал ему в его опытах. В 1686 г. он получил место профессора математики в Королевской коллегии, а в 1690 г. сделался членом академии наук. *Совёр* занимался преимущественно математико-механическими вопросами, но с этого времени он вступает на новый почти нетронутый путь и, несмотря на препятствия личного свойства, достигает значительных результатов. Он был

¹ *Gerland, Wiedem. Ann.*, VIII, стр. 363.

258 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КОЛЕБАНИЙ ТОНА

заика и обладал таким плохим музыкальным слухом, что определял интервалы только при помощи музыкантов. Тем не менее, его исследования по «музыкальной акустике», печатавшиеся в мемуарах академии с 1700 по 1730 г., составили эпоху в этой отрасли знания. Он умер в Париже в 1716 г.

Совёр пользовался для определения числа колебаний тонов очень интересными косвенными методами. При одновременном звучании двух органнх труб разных тонов он заметил, что по временам появляются усиления звуков, биения, и правильно приписал их периодическому совпадению обоих тонов. Применив однажды трубы, отличавшиеся друг от друга на полтона, он получил 6 биений в секунду; а так как числа колебаний тонов этих труб относились как 15:16, то для совпадения колебаний по 6 раз в секунду было необходимо, чтобы более низкому тону соответствовало 90 колебаний, а более высокому 96. Далее, он установил, что открытая органная *труба* должна иметь длину в 5 парижских футов, чтобы давать в 1 сек. 200 (половинных) колебаний, и нашел таким образом для большого С около 130 колебаний в 1 сек.¹ Так как гармонические отношения дают возможность по одному известному тону определять числа колебаний всех других, то Совёр и вычислил эти величины для всех тонов вообще.

Вскоре затем *Брук Тэйлор* (1685—1731; с 1712 г. член Королевского общества) подошел к этой задаче чисто математически, пытаясь вывести число колебаний из заданных длины, веса и натяжения струны. В своем известном сочинении «*Methodus incrementorum directa et inversa*» (Лондон, 1715) он показал, что колеблющаяся струна имеет вид сильно «растянутой циклоиды» в том случае, когда все ее точки переходят положения равновесия одновременно, он доказал далее, что струна, имеющая длину L , вес Q и натяжение P , в течение времени одного качания маятника, имеющего длину D , делает

$$\pi = \sqrt{(D \cdot P / L \cdot Q)}$$

колебаний. Отсюда для числа n колебаний в 1 сек. следует:

$$n = \sqrt{(P \cdot g / L \cdot Q)}$$

что дает уже возможность при посредстве одной струны определить число колебаний любого тона. Однако по *своему исходному положению это исследование не имело общего значения*, так как струна не всегда обязательно колеблется как единое целое и не всегда все ее точки

¹ Ньютон воспользовался в позднейших изданиях своих «Начал» (II кн., 8 отд.) измерениями Совёра и сделал вывод, что длина волны всякого тона превосходит вдвое длину производящей этот тон открытой трубы. Он принял скорость распространения звука в 1070 парижских футов, и так как звук в течение одного колебания распространяется на длину волны, то последняя для тона в 200 полных колебаний в 1 секунду должна иметь около 10 футов длины, т. е. быть вдвое длиннее трубы, издающей соответственный тон.

ОБЕРТОНЫ 259

одновременно переходят через положение равновесия. Струна может в одно и то же время колебаться и любыми частями и как целое. Колебясь всюю массою, струна издает свойственный ей основной тон, колебясь частями — так называемые гармонические обертоны; наконец, колебясь одновременно как целое и частями, она издает наряду с основным тоном также и обертоны. Тэйлор рассматривал только случай колебания всей струны целиком, и его определения верны только для этого случая. Лишь тридцать лет спустя эту задачу стало разрабатывать в общем виде целое поколение первоклассных математиков, как д'Аламбер, Эйлер и Даниил Бернулли, которые вели длинную дискуссию о формах, какие может принимать звучащая струна. Исследования эти были чисто математические и представляли по общей постановке вопроса большие аналитические трудности. *Экспериментальные же физики значительно раньше дошли до обобщения задачи*, так как было замечено, что струны сверх своего основного тона могут давать также и другие, более высокие.

Уже у Мерсенна мы встретим указание на обертоны; но еще определеннее наблюдались они *В. Ноблем* и *Т. Пиготом*, двумя учениками математика Валлиса, который опубликовал их исследования в 1677 г. в «Philosoph. Transactions». Мерсенну было известно также явление созвучия или резонанса; он наблюдал, что нередко звучащая струна приводит в колебание соседнюю. Нобль и Пигот натягивали подобные струны рядом и, настраивая их как основной тон и октаву, как основной тон и квинту октавы, или как основной тон и двойную октаву, убеждались, что на колебания более высоко настроенной струны соседняя отвечала тоже высоким тоном. Накладывая на струну бумажных наездников, они доказали, что при указанных выше условиях струна основного тона распадалась на две, на три или на четыре части. До Совёра обертоны удавалось наблюдать лишь посредством резонанса, он же получил их прямо, добившись того, чтобы струна переходила из основного тона в октаву. Прикасаясь к струне тонким телом, например, острием пера, по середине или в конце трети или четверти длины, он наблюдал переход основного тона в октаву, квинту и двойную октаву. Далее, накладыванием бумажек он доказал, что струна распадается при этом на две, три и четыре звучащие части. Производные тоны он назвал *гармоническими*, точки покоя — *узлами колебания*, а места наибольших размахов — *пучностями*. Тем самым было дано *опытное объяснение возникновения гармонических обертонов в то время, когда мы воспринимаем один тон звучащей струны*. Но хотя в это время предполагали — и Совёр уже занимался исследованием этого вопроса, — что *струна может издавать несколько тонов одновременно, именно: основной тон и несколько обертонов*, все же объяснить этого явления точно не удалось. Впрочем, и позднее это задало большую и трудную работу крупнейшим математикам.

Измерение числа колебаний различных тонов привело Совёра к вопросу о *пределах их слышимости*. По его наблюдениям трубки длиною в 40 футов и $\frac{5}{64}$ фута дают самый низкий и самый высокий из слышимых тонов. На этом основании пределами слышимости он принял промежуток от $12\frac{1}{4}$ до 6400 колебаний в секунду. Впоследствии эти

260 КОМБИНАЦИОННЫЕ ТОНЫ. СЕМЬЯ БЕРНУЛЛИ

границы значительно изменились, но Совёру принадлежит, тем не менее, заслуга постановки вопроса.

Возвращаясь еще раз к *звуковым биениям*, которые происходили у Совёра при одновременном звучании двух не очень сильно различающихся по высоте тонов, нужно заметить, что он пользовался ими для определения абсолютного числа колебаний тонов и старался, поэтому получить биения настолько редкие, чтобы их можно было считать. По этой причине он не заметил, что биения могут следовать с такой частотой, что они сливаются в тон. *Комбинационные тоны* (как их называют теперь) были открыты музыкантами-практиками. Знаменитый скрипач *Тартини* говорит в своем «Trattato di musica secondo la vera scienza dell'armonica» (Падуа, 1754) о комбинации двух тонов в *третий тон* и уверяет, что открыл его еще в 1714 г. Но печатно о комбинационных тонах высказывался еще раньше органист *Андрей Зарге* в своем «Anweisung zum Stimmen Orgeln» (Гамбург, 1744). Музыканты, конечно, не объяснили этих тонов и не знали *их тождества с биениями или толчками* Совёра. Только в 1759 г. *Лагранж* доказал это тождество в первой части записок Туринской академии и разъяснил, таким образом, это загадочное явление.

Открытие *дифференциального исчисления* и великое *физико-математическое творение Ньютона* постепенно оказывало все большее влияние на умы и, прежде всего, привело к тому, что отвлекло наиболее талантливых работников от опытной физики в область математической. Правда, на первых порах между этими работниками было еще мало согласия, потому что соперничество обоих творцов нового исчисления, Ньютона и Лейбница, перешло и на их последователей в лице англичан, с одной стороны, немцев и французов — с другой. Впрочем, эти разногласия, как происходившие на твердых основах математики, не только не запутывали дела, но подвигали его вперед, так что в конце сравнительно очень короткого периода, с победою партии Лейбница наступил мир. Победа, определившаяся более легкой применимостью исчисления Лейбница в сравнении с тяжеловесной теорией флюксий Ньютона, была выиграна, с другой стороны, благодаря членам одной семьи, занявшей выдающееся место в области математики, именно благодаря членам семьи Бернулли.

Базельский купец Николай Бернулли имел 11 человек детей, и двое из них, Яков и Иоганн, положили основание славе этой семьи *ЯКОВ I БЕРНУЛЛИ* (как его обозначают в отличие от последующих) родился 27 декабря (ст. стиля) 1654 г. в Базеле. Сначала он занимался математикой тайком, так как отец предназначал его для духовного звания, и он должен был выдержать экзамен по богословию. Позднее он совершил путешествие по Голландии, Англии и Франции, а в 1686 г. стал профессором математики в Базеле, где и умер 16 августа 1705 г. В начале научной своей деятельности Я. Бернулли занимался физикой еще больше, чем впоследствии, и *всю жизнь оставался убежденным последователем Декарта*. В сочинении «Dissertatio de gravitate aetheris» (Амстердам, 1683) он объясняет, подобно Декарту, *тяжесть* отталкиванием тонкой упругой жидкости, которую он называет *эфиром*; при этом он старается пополнить Декарта, сводя и твердость тел на давление

DE GRAVITATE AETHERIS. ЦЕПНАЯ ЛИНИЯ 261

того же эфира. По его мнению, тела представляют большую или меньшую твердость, смотря по тому, насколько они богаты порами, в которые проникает эфир, противодействующий внешнему давлению. В правильности этого взгляда Бернулли до такой степени убежден, что в факте нераспадания твердых тел в пустоте он видел доказательство существования эфира, проникающего и в пустые пространства. *Волосное притяжение* он выводил тогда еще из давления воздуха. *Мариоттов закон он считал правильным лишь до известных пределов*, потому что частицы воздуха, по его мнению, имеют определенную величину и могут сжиматься лишь до взаимного соприкосновения. В 1685 г. он занимался вопросом о весе *атмосферы*, в 1688 г. — измерением *высоты облаков*, на основании продолжительности их окраски после захода солнца, а с 1686 г. — *определением центра качания тел*. Гюйгенсов принцип сохранения центром тяжести достигнутой однажды высоты казался ему недостаточно верным, и он старался решить задачу независимо от этого принципа. С этой целью им был поставлен на разрешение вопрос, не выравниваются ли скорости двух тяжелых масс в физическом маятнике, как в рычаге. *Лопиталь*, однако, указал, что такое предположение не соответствовало бы действительности, и Я. Бернулли уже в 1691 г. (а подробнее в 1703 и 1704 гг.) исправил свой метод определения центра качаний. Дифференциальным исчислением он стал заниматься тотчас по опубликовании его и решил при помощи этого нового способа целый ряд труднейших физико-математических проблем.

В 1687 г. по поводу спора, следует ли при измерении силы принимать в расчет время, Лейбниц иронически предложил картезианцам *найти кривую, двигаясь по которой тело в равные времена опускается на равные высоты*. Не дождавшись ответа в течение двух лет, он опубликовал в 1689 г. свое собственное решение, причем воспользовался старым синтетическим методом и пришел к тому же выводу, какой раньше получил Гюйгенс. Но Я. Бернулли доказал в 1690 г. при помощи нового счисления, что искомая кривая есть *полукубическая кривая или парабола Нейля*. Лейбниц назвал ее *изохроной* и предложил новую задачу: *найти парацентрическую изохрону, т. е. такую кривую, чтобы тело, опускаясь на нее, равномерно приближалось к какой-нибудь неподвижной точке*; и эта задача была решена Я. Бернулли в 1694 г., хотя и не в самом общем виде. П. Бернулли со своей стороны в 1690 г. предложил математикам на решение старый вопрос: *какой вид принимает горизонтально укрепленная на концах тяжелая, гибкая, но нерастяжимая нить*. В 1691 г. Гюйгенс, Лейбниц и братья Бернулли согласно нашли, что нить принимает вид *особенной, еще не исследованной кривой*, которую они назвали *цепной линией*. Впоследствии Я. Бернулли, расширив эту задачу, решил ее для случая, когда вес нити от точки до точки изменяется по некоторому определенному закону. В 1692 г. он занимался так называемой *упругой кривой*, т. е. линией, какую образует упругий стержень, закрепленный на одном конце, а на другом отягощенный грузом. В 1692 г. вместе с братом он впервые исследовал с общей точки зрения *фокусные линии различных отражающих и преломляющих кривых поверхностей*. Как уже было упомянуто, названия диа- и катакустика были введены им. До 1695 г. оба брата работали вместе;

но с этих пор вслед за отъездом младшего на профессию в Гренинген дружеские отношения между братьями прекратились и затем они приняли крайне враждебный характер.

ИОГАНН БЕРНУЛЛИ родился в Базеле в 1667 г., и был, следовательно, почти на 13 лет моложе Якова. Математическое образование он получил у брата; 18 лет он был уже доктором, а в 1695 г. сделался профессором в Гренингене, откуда перешел по смерти брата в 1705 г. профессором в Базель, где и умер 1 января 1748 г. Нрава он был крайне строптивного, страстно любил спорить и в распри со старшим братом был гораздо более виноват, чем последний. В 1696 г. он предложил в «Acta eruditorum» математикам на решение задачу: *найти кривую (брахистохрону), падая по которой тело в наискратчайшее время перейдет от более высокой точки к более низкой, не лежащей ни на общей вертикали с первой точкой и ни на общей с ней горизонтальной плоскости*. В следующем году, наряду с решением самого Иоганна появились решения его брата Якова, Лейбница, Лопиталья и Ньютона, последнее в анонимном виде. Все определили путь точки как дугу циклоиды; но не всеми решениями Иоганн остался одинаково доволен. Работу брата он признал неудовлетворительной, а решение Ньютона, которого узнал по стилю, он превознес. Яков этим сильно обиделся и со своей стороны предложил брату несколько задач для испытания; отсюда возгорелась научная война между братьями, за которой мы, однако, следить не станем, так как она происходила исключительно на математической почве.

Несмотря на похвалу Ньютону в приведенном выше случае, Иоганн Бернулли всю свою жизнь состоял в дружбе с его противниками и боролся с его приверженцами. *Физику Декарта он защищал до конца своих дней; с Лейбницем он не только находился в оживленной переписке¹ вплоть до его смерти, но и мужественно защищал его против нападков англичан, как изобретателя дифференциального исчисления*. Уже в первом своем сочинении «Dissertatio deeffervescentia et fermentatione» (Базель, 1690) он рассматривает с картезианской точки зрения все случаи брожения и накипания смешиваемых жидкостей. Тела разделяются на пассивные (щелочи), содержащиеся в промежутках между твердыми частицами сжатый воздух, и активные (кислоты), характеризующиеся частицами острой формы; последние при смешении с пассивными телами проникают в их промежутки, разрушают связь между частицами и освобождают воздух. Взрывчатая сила пороха объясняется совершенно так же: порох есть пассивное вещество, в которое проникают острые частицы огня и освобождают очень сильно сжатый воздух². С картезианской же точки зрения Иоганн Бернулли решил в 1730 г. выставленную Парижской академией на премию задачу о *физических причинах сжатия планет и движения их афелиев*, а в 1733 г.— другую задачу о *причине наклонения планетных орбит к солнечному экватору*. Против ньютоновского закона тяготения он выставил но-

¹ G. Leibnitii et Joh. Bernoulli commercium philosophicum et mathematicum» (Лозанна) 1745).

² Как ни странно кажется нам эта теория, однако и Эйлер (Lettres a une princesse, Петербург 1768—1772, 13-е письмо) еще придерживается ее.

ПОЛЕТ ТЕЛА В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ 263

вое и не легкое возражение, что если тяготение исходит из малейших частиц материи и определяется их количеством, то тяготение между телами должно убывать пропорционально не квадратам, а кубам расстояний. При этом, однако, по поводу своей победы над молодым женевцем, *Габриэлем Крамером*, подавшим по первой из выставленных на премию задач работу, основанную на ньютоновских воззрениях, он заявил, что своей победой он обязан исключительно тому, что лучше Крамера воспользовался вихрями Декарта, *которые все еще находятся в большом почете у ученых судей*.

С 1699 г. Иоганн Бернулли состоял членом Парижской академии, а с Лондонским королевским обществом почти всегда находился в состоянии войны. *Давида Грегори* по поводу его сочинения о цепных линиях он уже в 1697 г. обвинил в плагиате, а позднее он в том же обвинил и *Тейлора*. В 1714 г. Иоганн Бернулли издал сочинение «*De natura centri oscillationis*», выводы которого были основаны полностью на законе сохранения живой силы и где было доказано, что, вообще говоря, центр качания и центр удара отличаются друг от друга и совпадают лишь в отдельных специальных случаях. Спустя год после того *Брук Тейлор* решил в своем «*Methodus incrementorum*» ту же задачу, и это навлекло на него обвинение в плагиате. В эту пору спор с Бернулли сделался для англичан почти делом национальной чести, но новый Гораций Коклес не только выдерживал натиск целой армии, но время от времени даже одерживал блестящие победы над теми из противников, которые зарывались слишком вперед. Ньютон в своих «*Началах*» определил *линию полета брошенных тел* лишь для случая, когда сопротивление среды пропорционально скорости, но *оставил неразрешенным более важный случай, когда сопротивление пропорционально квадрату скорости*. *Джон Кейль*, профессор философии в Оксфорде (1671—1721), открывший в 1708 г. своей брошюрой *спор о первенстве между Ньютоном и Лейбницем*, «солдат скорее задорный, чем храбрый», захотел сразить Иоганна Бернулли и предложил ему в 1718 г. на решение задачу, которой не решил сам Ньютон. Сверх всякого ожидания ответ был вскоре готов: Бернулли *определил линию полета* не только для случая сопротивления пропорционального квадрату, но и — любой степени скорости. Свое решение он держал сначала в тайне и вызывал противника опубликовать его собственные исследования. Но тот молчал, и хотя впоследствии Бернулли открыто утверждал, что Кейль не был в состоянии решить задачи, им самим предложенной, этот последний продолжал хранить молчание. Свое решение Иоганн Бернулли опубликовал одновременно с решением той же задачи его племянником Николаем Бернулли в 1719 г. Теоретически задача была таким образом решена; но практика, как увидим впоследствии, от этого еще мало выиграла. Выражения, определяющие линию полета, были очень сложны, многие интегралы не допускали общего интегрирования, к тому же действительный закон сопротивления воздуха не было точно выяснен. Еще раньше Иоганн Бернулли дополнил «*Начала*» Ньютона и по другому вопросу. Выше мы видели, что Ньютон не смог доказать, что согласно его закону тяготения, тела, притягиваемые к точке, должны двигаться

264 БАРОМЕТР ИОГАННА БЕРНУЛЛИ

по кривым конических сечений. При помощи нового исчисления Иоганн Бернулли доказал это положение в самом общем виде.

Главной сферой деятельности этого ученого была математика. Как математик Иоганн Бернулли сыграл очень видную роль в умственном движении своего времени, и некоторые важные отрасли математических знаний, например, интегральное исчисление, обязаны своим развитием преимущественно его работам. *В математической же физике он ограничился почти исключительно вопросами механики. По оптике имеется лишь его исследование фокусных линий* да, кроме того, попытка вывести закон преломления из чисто механических основ. В начале своей карьеры он, правда, интересовался некоторыми вопросами опытной физики, но работы его в этом направлении не могут идти в сравнение с прочими его достижениями.

Упомянем еще о некоторых работах Иоганна Бернулли, стоящих особняком. В своем «Discours sur les lois de la communication du mouvement» («Par. Mém.», 1727) он выводит законы удара упругих тел из начала сохранения живых сил, а также разбирает случай *косого удара. Упругость тел он объясняет вообще напором эфирных вихрей, стремящимся раздвинуть твердые частички тела.* К упомянутому выше трактату о светящемся барометре присоединился в 1719 г. новый — *о светящейся ртути.* Он подробно описал свойства этого свечения, и это явление тоже *объяснил действием эфира, проникающего в пустоту через стенки стекла и вызывающего здесь свечение.* Новый предложенный им барометр получил большое распространение¹. Он состоял из отвесной барометрической трубки, которая снизу переходила в горизонтальное колено. Здесь трубка была значительно уже, чем в верхней отвесной части; поэтому колебания уровня ртути передавались в нижние колена значительно усиленными. Тем не менее, чувствительность прибора была незначительна, а конструкция была неудобна для переноски и, подобно другим видам барометра, в которых заботились об увеличении колебаний уровня ртути, она вышла из употребления, когда ввели шкалы с мелкими делениями и стали употреблять для отсчета *катетометры*².

Потребности мореплавания постоянно вызывали в Англии интерес к магнитным наблюдениям и содействовали развитию теории магнетизма, по крайней мере, в определенном направлении. Между наблюдателями следует на первое место поставить *Грегама*, который изложил в «Philosoph. Transact.» 1724 г. результаты своих тщательных наблюдений под заглавием: «Observations made on the variation of the horizontal needle at London 1722—1723». *ДЖОРЖ ГРЕГАМ* родился в 1675 г. в Кумберленде, поступил в ранние годы учеником к знаменитому лондонскому часовщику *Томпсону* и настолько прославился как механик

¹ *Gehler*, I, стр. 774-775.

² Стефан Грэй описывает в «Philosoph. Transactions» уже в 1698 г. прибор, отличавшийся от нашего теперешнего катетометра лишь тем, что в нем вместо зрительной трубки находится микроскоп; другими словами, — тем, что отсчитывание совершается в непосредственной близости от прибора. Катетометр с зрительной трубкой и очень коротким масштабом был описан в 1817 г. Дюлонгом и Пти. В общем употреблении катетометры были введены Реньо (*Gerland*, Bericht üb. die wissensehaftl. App., стр. 14 — 16).

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНОГО СКЛОНЕНИЯ 265

и часовщик, что в 1728 г. сделался членом Королевского общества, а после смерти в 1751 г. заслужил чести погребения в Вестминстерском аббатстве.

В названном сочинении он констатирует, что *склонение магнитной стрелки изменяется почти непрерывно; что колебания приблизительно в $1/2^\circ$ повторяются каждый день периодически и что в суточных колебаниях всегда есть максимум и минимум*. Точно так же и в наклонении магнитной стрелки, равно как в силе земного магнетизма, Грегам подметил постоянные незначительные колебания, но периодичности этих изменений констатировать не мог. До него последние два вида колебаний вообще мало обращали на себя внимание, так как они не представляли практического интереса. Прежде было распространено мнение, что наклонение по всему экватору равно нулю и что в северном полушарии оно северное, а в южном — южное; но уже в 1700 г. наблюдения *Кеннингэма* и в 1706 г. наблюдения иезуита *Франсуа Нозля*, совершившего поездку в Индию, показали неправильность такого мнения. *Существовавшая теория магнетизма не могла еще, конечно, объяснить этих новых фактов*. Мы видели, к какому искусственному построению должен был прибегнуть Галлей, чтобы объяснить одни лишь вековые изменения отклонения; как же было справиться с непрерывными маленькими колебаниями стрелки. *Тогдашняя теория магнетизма была основана на картезианских началах, и таковой она оставалась еще долгое время*. Один только *Филипп Виллемо* в его «Nouveau systeme ou nouvelle explication du mouvements des planetes» (Лион, 1707) несколько видоизменил учение Декарта, высказав мысль, что магнитная материя, истекающая из земного полюса, описывает спиральные линии, и пытался объяснить таким образом хотя бы постоянное отклонение магнитной стрелки. Теории притяжения Ньютона была перенесены на магнетизм лишь после великих открытий в области электричества, да и то, по крайней мере, в отношении земного магнетизма, по началу с небольшим успехом.

Помимо открытия суточных периодов магнитного склонения Грегам имеет еще много других заслуг в области физики. Он первый нашел способ точного *деления круга* и устроил для Гринвичской обсерватории большой стенной квадрант, при посредстве которого *Брадлей* открыл абerrацию света. Но главная его заслуга состояла в *усовершенствовании часов*. Чтобы уменьшить трение он стал *вешать маятник острием на твердые стальные опоры, изобрел анкерное регулирование и компенсацию маятника*. Уже в 1715 г. он пытался устранить или, по крайней мере, ослабить изменение длины маятника от действия тепла. С этой целью Грегам стал заменять сначала металлические стержни маятника деревянными, подверженными в меньшей степени расширению; затем, ввиду различных неудобств этого способа, он попытался делать стержень из нескольких металлов с различными показателями расширения. Но и эта мысль была им оставлена в 1721 г. в пользу *компенсации ртутью*, оказавшейся наиболее удовлетворительной. Этот способ описан им, в статье «A contrivance to avoid the irregularities in a clock's motion occasioned by action of heat cold on a pendulum road» («Phil. Trans.», 1726). Компенсацию различными металлами, т. е. устройство уравни-

266 ТЕРМОМЕТРЫ С СОГЛАСНЫМИ ПОКАЗАНИЯМИ

тельного маятника, довел до конца другой мастер, *Джон Гаррисон* (1693—1776) в период между 1725—1737 г. Он же комбинацией двух металлов добился независимости баланса *корабельных часов* от колебаний температуры. Грегам первым стал рекомендовать часы Гаррисона и всячески помогал ему, когда тот явился в Лондон неизвестным бедняком.

При устройстве компенсации Гаррисон постоянно имел в виду цель *приспособить часы к определению географических долгот на море*; в 1765 г. заслуга его была признана английским парламентом и ему была выплачена за решение этой задачи половина суммы премии, установленной еще в 1715 г., а именно 10 000 фунтов. Гаррисон выполнил, таким образом, задачу часовщика, а астрономическая работа определения долготы на море выпала на долю двух немцев. *Эйлер* получил от того же парламента 3000 фунтов за свое исправление теории движения Луны, а наследники *Иоганна Тобия Майера* получили столько же за составленные их отцом по теории Эйлера лунные таблицы.

Первым мастером, достигшим давно поставленной и до тех пор еще не осуществленной цели устроить согласные по своим показаниям термометры, был *ДАНИЭЛЬ ГАБРИЭЛЬ ФАРЕНГЕЙТ*. Он родился в Данциге 14 мая 1686 г. и предназначался для торговой деятельности, но в торговле ему не посчастливилось, и он обратился к занятиям физикой, которые были ему более по душе. Большую часть своей жизни он провел в Голландии, где работал стеклодувом и занимался приготовлением физических инструментов. Он умер в Голландии 16 сентября 1730 г. Известен он стал благодаря *Христиану Вольфу*, который в специальной статье («Acta eruditorum», 1714) «Relatio de novo thermometrorum concordantium genere» сообщал, что он получил в этом году от Фаренгейта два спиртовых термометра с совершенно согласными показаниями. Вольф полагал, что такое согласие обуславливалось особыми свойствами применяемого спирта, и Фаренгейт долго не разъяснял загадки, пока, наконец, в 1724 г. не изложил своего способа в «Philosoph. Transactions». Согласные спиртовые термометры он готовил уже с 1709 г., но с 1714 или 1715 г. под влиянием исследований Амонтонна над расширением ртути он стал делать ртутные термометры¹.

Своим термометрам он придавал различные шкалы. Последняя из них, от 0 до 212° , употребляется до сих пор в Англии и Америке. Согласно их описанию, для градуирования термометров он погружал их сначала в смесь воды, льда и нашатыря или поваренной соли, обозначая точку, на которой останавливался спирт (соответствующую почти самому сильному холоду суровой зимы 1709 г.), 0°; затем термометр переносился в смесь льда и воды; точка замерзания воды обозначалась 32°, и расстояние между обеими точками делилось на 32 равных части. Для проверки Фаренгейт определил теплоту крови, помещая термометр человеку в полость рта или под мышку. Эта точка обозначалась 96°. Отсюда следует, что точкой кипения воды он еще не пользовался, да

¹ Два прекрасно сделанных ртутных термометра Фаренгейта сохраняются в Лейденском физическом кабинете

ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ ВОДЫ. ТЕРМОБАРОМЕТР 267

его ранние термометры и не достигали еще таких температур. Но после напечатания своего трактата в 1724 г. он уже обозначает на своих термометрах точку кипения воды в 212°; некоторые полагают, что он пользовался ею для градуирования и раньше, но скрывал этот важный факт из эгоистических расчетов¹.

В статье 1724 г. Фаренгейт описывает явление, которое можно назвать *переохлаждением воды*. В 1721 г. он проделал следующий опыт: наполнив стеклянный шар (около дюйма в диаметре с выводной трубкой длиной в 2—3 дюйма) водой, он вскипятил ее, быстро запаял выводную трубку шара и выставил шар на ночь на 15-градусный мороз. Утром следующего дня он нашел воду в шаре в жидком состоянии, но как только он отломал запаянный конец выводной трубки, вода очень быстро замерзла. Последнее он приписал сначала действию проникшего в шар воздуха, но позже заметил, что замерзание происходит от сотрясения, потому что оно наблюдалось и при встряхивании запаянного шара. *Сипи термометр Фаренгейт предложил употреблять и качестве барометра*. Подобно Папену, он заметил, что вообще под колоколом воздушного насоса вода кипит при более низкой температуре, и сверх того установил, что любому обычному колебанию воздушного давления соответствует изменение температуры кипения. Поэтому он предложил в «Description on a new barometer» («Philos. Transactions», 1724—1725) определять колебания воздушного давления по изменению температуры кипения. Однако эта мысль возродилась лишь в нашем столетии благодаря Уолластону, и использована была, прежде всего, для определения высот.

Наконец, следует еще упомянуть об *усовершенствовании* Фаренгейтом *весового ареометра*. Согласно Герлянду («Ver. üb. d. wissensch. Appar.», стр. 27) этот прибор был придуман не *Бальтазаром Монконис* (1661—1665), как обыкновенно утверждают, а *Робервалем* еще ранее 1664 г. Он состоял из стеклянного шара, наполовину наполненного ртутью, с короткой запаянной трубкой. На трубку надевались кольцеобразные грузы до полного погружения прибора в жидкость вплоть до его верхушки. Неправильность показаний происходила оттого, что грузы, погружившись в воду, теряли в весе. Фаренгейт как искусный стеклодув снабдил трубку особой тарелочкой, таким образом грузы оставались над водой, погружая инструмент до определенной постоянной черты на трубке. Этим путем был устранен указанный источник ошибок.

Упомянутый выше Вольф² издал в 1721 г. сочинение «Allerhand nützlich Versuche zur genaueren Kenntniss der Natur und der Kunst», в котором он пространно говорит о теплоте и ее сущности. Его рассуждения интересны в том отношении, что в них уже изложены те взгляды на теплоту, которые господствовали еще в недавнее время. *Теплота является особым веществом, переходящим от одного тела и другому*. Тепловое вещество собирается в мельчайших промежутках между частицами тел, в одних больше, в других меньше, смотря по

¹ *Gehler*, Physical. Wörterbuch, IX, стр. 859-862.

² Христиан фон Вольф (1679—1754), известный основатель лейбнице-вольфовой философии.

268 ТЕПЛОЕ ВЕЩЕСТВО. О ЗАМЕРЗАНИИ ВОДЫ

природе тел. Тело с большими грубыми промежуточными пространствами не может быть очень теплым, не может быть теплее воздуха, который окружает тело и проникает в его поры. *Само по себе тепловое вещество не теплое; оно вызывает чувство теплоты, лишь находясь в движении.* Когда два вещества смешиваются друг с другом, частицы их приходят в движение; поэтому неудивительно, что при смешениях и растворениях развивается тепло. Но когда растворяют в воде селитру, часть тепла переходит из воды в последнюю, оттого вода становится холоднее. Сквозь гипотезу о нетеплом тепловом веществе просвечивает столь долго применявшееся понятие *скрытой теплоты*. До этой мысли Вольф, однако, еще не додумался, иначе ему не пришлось бы прибегнуть к предположению, что соль холоднее воды и потому поглощает тепло из последней.

Подобно Вольфу, изменениями состояния тел под влиянием теплоты много занимался *Жан Жак д'Орту де-Меран* (родился в 1678 г. в Безьере, умер в Париже в 1771 г.), бывший с 1718 г. членом, а с 1741 г. секретарем Парижской академии. Он был усердным последователем Декарта и все явления природы объяснял его началами. В 1710 г. появилось его сочинение «*Dissertation sur la glace*», увенчанное академией в Бордо, пережившее много изданий и переведенное на немецкий язык в 1752 г. Объяснения явлений посредством искусственных положений картезианского стиля не вызывают большого интереса, но в этом сочинении имеется много ценных наблюдений над *замерзанием* и соприкасающимися с ним явлениями. *Причин расширения воды при замерзании* Меран приводит три: *воздушные пузыри*, заключенные во льду; *разрыхление льда* выходящим из него при замерзании воздухом и, наконец, *лучистое расположение частиц льда*, происходящее оттого, что *ледяные иглы располагаются под острыми углами друг к другу*. Факт испарения льда, особенно при сильном ветре, известен Мерану; он объясняет его толчками воздушных частиц, уносящими с собою частицы льда. Тот факт, что *холод в конце зимы, перед наступлением таяния, наиболее ощутителен*, он считает обманом чувств, который опровергается термометром; однако причина такого обмана заключается в том, что в это время в воздухе носится множество пузырьков воды и ледяных игл, которые, прилегая к коже плотнее, чем воздух, производят чувство охлаждения. Когда после сильного мороза наступает оттепель и стены покрываются инеем, то это *происходит не оттого, что из стены выступает влажность, а вследствие замерзания на стене влаги, содержащейся в воздухе*. В трактате его о ветрах, заслужившем премию Бордоской академии в 1715 г., он пытается объяснить *колебания барометра действием ветров*. Впоследствии он подвергся сильным нападкам по поводу этой работы.

В рассматриваемое время физики-экспериментаторы еще занимались старыми вопросами: с половины прошлого столетия, после великих флорентийских экспериментаторов, после Герике, Бойля и др., опытная физика еще не наметила новых целей и не обогатилась ни единым исследованием, которое составило бы эпоху в области теоретической физики. Математика и математическая физика привлекли тогда к себе лучшие умственные силы, и вместе с тем наибольшую славу. Время от времени

ПРОВОДИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 269

появлялись, правда, работы по электричеству, напоминавшие ученым об этой таинственной области: но людям, привыкшим двигаться по проторенным путям, было нелегко свернуть на новые пути; поэтому даже столь важные исследования, как опыты Грея и Дюфэ, о которых мы сейчас здесь будем говорить, далеко не возбудили должного интереса в современниках, — такого, какой выпал например, в свое время на долю открытия воздушного насоса.

СТЕФЭН ГРЕЙ (1670—1736)¹, член Лондонского королевского общества, исследуя в 1729 г. вопрос, изменяется ли характер электрических явлений на стеклянной трубке, если она при натирании открыта или закрыта с обоих концов, заметил, к своему удивлению, что легкие тела притягиваются не только трубкой, но и пробками, которыми заткнута трубка. Воткнув затем в пробку сосновую палочку в 4 дюйма длины, с шариком из слоновой кости на свободном конце, он нашел, что и шарик наэлектризовался. Явление оставалось тем же, когда палочка была заменена более длинной проволокой, или шарик был связан с пробкой бечевкой; не изменилось оно и тогда, когда Грей с балкона своего дома спустил шарик почти вплоть до земли на высоту 26 футов. Электричество, следовательно, распространилось по бечевке вниз. Желая видеть, распространяется ли оно и горизонтально, Грей придал бечевке и горизонтальное положение, удерживая ее свободный конец (с шариком) другой бечевкой, спускавшейся отвесно с крыши. При этом шарик оказался незаряженным, и электричество перешло на крышу. Грей пожаловался на эту неудачу своему другу Уилеру (духовное лицо и тоже член Королевского общества, умер в 1770 г.), и оба они повторили опыт с тем же результатом. Тогда Уилер посоветовал прикрепить бечевку к крыше не прямо, а посредством шелковинки, полагая, что по тонкой нити электричество не так легко уйдет. Опыт сначала оправдал его предположение; но когда однажды шелковая нить оборвалась и была заменена тонкой медной проволокой, последняя оказалась способной отводить электричество. Впоследствии, из дальнейших опытов Грей убедился, что суть дела заключается *не в толщине нити, а в ее веществе*. Именно он нашел, что *в отношении проводимости электричества с шелком схожи волосы, смолы, стекло и некоторые другие тела*. Этими свойствами он и воспользовался, чтобы удерживать электричество на телах. По его словам, последнее удавалось ему иногда в течение 30 дней. Хотя мысль о сохранении электричества и не была сама по себе плодотворной, но она все-таки *повела к позднему открытию усиленной (Лейденской) банки*.

Грей, по-видимому, немного занимался пояснительными опытами, но тем усерднее он старался вместе со своим другом Уилером расширить сферу своих наблюдений. *Подвесив ребенка на шнурах из волос, он нашел, что тело его принимало заряд и проводило электричество*; то же самое получалось, когда ребенок ставился на смоляной диск. *Различные тела, по его наблюдениям, принимают различное количество электричества; но массивный куб из дубового дерева принимает не бо-*

¹ Уилер, друг Грея, говоря о последних его опытах перед смертью, последовавшей в 1746 г., замечает, что в то время Грею было 66 лет. Значит, он родился в 1670 или 1669 г.

270 РАЗЛИЧНЫЕ ОПЫТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

лее, чем полый куб таких же размеров, хотя электрические истечения и проходили, по-видимому, через всю толщу куба. Он же заметил, наконец, что магнитные и электрические истечения нисколько не мешают друг другу: *наэлектризованный ключ притягивает легкие тела совершенно, одинаково, независимо от того, притягивается ли он сам в это время магнитом или нет.* Свои работы Грей опубликовал в «Philosoph. Transactions» в 1731 и 1732 гг. Они обратили внимание Дюфэ на электрические явления, и последний продолжил опыты Грея с еще более блестящими результатами.

Шарль Франсуа де-Систерне Дюфэ родился в Париже 14 сентября 1698 г. и в ранней молодости поступил на военную службу, но скоро оставил ее по слабости здоровья, а также в связи с наступлением периода мира, и стал заниматься естественным и науками. В 1732 г. он сделался директором Jardin des plantes и довел его до блестящего состояния. Однако уже ранее того он много занимался физикой и не оставил этих занятий, получив директорство. Умер он в 1739 г., не достигнув 41 года. Работы его были помещены в мемуарах Парижской академии, членом которой он состоял с 1723 г. *Электрические исследования Дюфэ появились в промежуток между 1733 и 1737 гг. В первом из них изложена краткая история электричества до 1732 г.*

Подтвердив большую часть результатов Грея, Дюфэ некоторые из них исправил. Так, он доказал, что *цвет тел не играет роли при заряджении их электричеством.* Занимаясь, подобно Грею, вопросом, какие тела способны принимать всего больше электричества, он, как ему показалось, заметил, что этим свойством обладают те из них, которые при трении не электризуются. При этом Дюфэ пользовался первой примитивной формой *электроскопа* в виде изолированно подвешенных шелковых бумажных или шерстяных нитей, которые расходились при сообщении им электричества. *Он наблюдал, далее, электрическую искру, которой Грей не видал, и умел извлекать ее даже из изолированного человеческого тела.* С этой целью он сам ложился, на шелковые шнурки и наэлектризовывал свое тело настолько сильно, что приближение посторонней руки на расстояние одного дюйма вызывало искры из лица, рук, ног и платья. Искры сопровождались треском и легкой-колющей болью, как для наэлектризованного лица, так и для экспериментатора. Аббат Нолле, присутствовавший при большинстве опытов Дюфэ, пишет, что он никогда не забудет ужаса, объявшего его и Дюфэ, когда из человеческого тела была извлечена первая электрическая искра.

Грей признал без зависти результаты Дюфэ и, повторяя его опыты, напал на очень странную мысль, которую нельзя не упомянуть. При своих опытах с отталкиванием легких тел он подвешивал их на нити и, держа последние в руке, приближал тела к наэлектризованному железному шару. При этом он, по его словам, установил, будто *легкие тела отталкиваются не по прямой линии, а начинают вращаться вокруг шара всегда в одном и том же направлении, именно в том, в каком планеты обращаются вокруг солнца*¹. На этом факте он собирался основать

¹ „On the revolutions which small pendulous bodies, by electricity, make round larger ones from west to east, as the planets do round the sun" («Phil. Trans.», 1736).

ДВА ЗАКОНА УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ 271

теорию движения планет, но умер, не успев изложить своей теории. Уилер и Дюфэ тщетно старались получить те же результаты, и первый стал, наконец, догадываться, что, вероятно, у его старого друга дрожала рука и тем сообщала отталкиваемым телам необходимую для вращения боковую скорость. Неудивительно, что Грей увлекся таинственным отталкиванием наэлектризованных тел, подобно тому, как в начале XVII в. увлекались в связи с тем же вопросом (т. е. объяснением движения небесных тел) магнетизмом; но это, конечно, показывает, поскольку к тому времени уже существовала механическая теория Ньютона, что последнюю понимали или признавали не все еще физики-экспериментаторы того времени.

Главная заслуга Дюфэ заключается в том, что он с помощью индукции вывел из своих многочисленных опытов *два закона*, которые впервые внесли некоторый порядок в сбивчивое разнообразие явлений и до настоящего времени служат основными фактами в учении об электричестве. Из того как Дюфэ говорит о своих выводах, ясно, что он сознавал их важное значение. *«Я открыл очень простой принцип, объясняющий большую часть всех аномалии и странностей, которыми сопровождаются обыкновенные электрические явления. Этот принцип заключается в том, что все наэлектризованные тела притягивают те тела, которые не наэлектризованы, и наоборот, отталкивают их, как только притягиваемое тело, от приближения ли или соприкосновения, в свою очередь, наэлектризовывается.* Прилагая это правило к различным опытам, можно объяснить громадное количество темных загадочных явлений». *«Случай навел меня в моих исследованиях на другой принцип, еще более замечательный и более общий, чем предыдущий, — принцип, который бросает совершенно новый свет на этот вопрос. Этот принцип состоит в том, что имеется два существенно различных вида электричества; одно из них я назову стеклянным, а другое смоляным. Первое появляется на стекле, драгоценных камнях, волосах, шерсти и пр., а другое на янтаре, гуммилаке, шелке и т. д. Отличительным признаком обоих электричеств служит то, что однородные электричества отталкиваются, а разнородные взаимно притягиваются.* Замечательно, что последний вывод не получил тотчас же должного признания и был установлен позже, без упоминания заслуги Дюфэ.

После Грея электричеством занимался также *Жан Теофил Деагюлье* (1683—1744 г.), теолог, профессор физики в Оксфорде, читавший лекции по физике во многих других местах и под конец сделавшийся капелланом принца Уэльского. Его труды помещены в «Philos. Trans.» в 1739—1742 гг. Он первый назвал тела, не электризующиеся, по его мнению, от трения, *проводниками* и разделил соответственно этому все тела на *электрические по природе и на проводники*. Первые не принимают электричество от других тел и отдают свое собственное не сразу, а лишь в местах, к которым прикасаются, тогда как проводник теряет от прикосновения все электричество сразу. Сухой воздух он причислил к непроводникам, т. е. электрическим телам по природе.

Деагюлье принимал участие во многих опытных исследованиях, но *науке он послужил больше участием в чужих открытиях и распространением научных знаний, чем собственными открытиями.* Благодаря

272 ДАНИИЛ БЕРНУЛЛИ. ЭЙЛЕР

открытия Грея и Дюфэ получили значительное распространение. Его «Cours of experimental philosophy» (Лондон, 1717) появлялся до 1763 г. во многих изданиях и переводах, а его «Dissertation sur l'électricité» было увенчано премией Бордоской академии в 1742 г.

В то время как опытная физика приступила к завоеваниям в новой, до того времени почти сказочной области, математическая физика тоже твердо шла вперед. *Старые синтетические геометрические методы*, которыми почти исключительно пользовался Гюйгенс, а также и Ньютон, были оставлены. *Всю эту область завоевал новый анализ*. Получив в руках первых Бернулли мощное развитие, он несколько позднее, когда на сцену выступило новое поколение математиков с Даниилом Бернулли, Эйлером и д'Аламбером во главе, сделался самой плодотворной основой для всей математической физики.

ДАНИИЛ I БЕРНУЛЛИ, сын Иоганна I, родился 29 января (ст. стиля) 1700 г. в Гренингене. После долгого пребывания в Италии он отправился с братом Николаем II во вновь основанную Петербургскую академию. Брат его Николай умер там же в следующем году, да и сам Даниил вернулся из-за расстроенного здоровья в 1733 г. в Базель. Здесь сначала он был профессором анатомии и ботаники, а в 1750 г. профессором физики и философии. Умер он в Базеле в 1782 г.

ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР (родился 15 апреля 1707 г. в Базеле) получил первоначальное математическое образование у своего отца Павла Эйлера, священника в дер. Риген около Базеля, учившегося математике у Якова I Бернулли. Леонард предназначался тоже для духовного звания; но когда он обратил на себя внимание Иоганна Бернулли и стал брать у него частные уроки, эта мысль была оставлена. После того как молодые Бернулли получили приглашение в Петербург, «они употребили столько же усилий для того, чтобы приблизить к себе своего страшного соперника (Эйлера), сколько их употребляют обыкновенные люди для удаления такового». Не находя места в Базеле, Эйлер действительно в 1727 г. переехал в Петербург. Здесь он в 1730 г. занял место профессора физики при академии, а в 1733 г. место своего друга, Даниила Бернулли — кафедру высшей математики. Усиленные занятия довели его в 1735 г. до сильной горячки, которая кончилась потерей правого глаза. В 1741 г. он переехал в Берлин директором математического класса академии, но в 1760 г. вернулся в Петербург. В этом же году он почти потерял зрение и на левый глаз, так что мог различать лишь крупные меловые знаки на черной доске. Это, однако, не прервало его научных трудов: умственные силы он сохранил до конца жизни. 7 сентября 1783 г. за обедом он беседовал еще с Лекселлем о новой планете (Уране), а во время игры с внуками за чаем у него вдруг выпала из рук трубка, «и он перестал вычислять и жить». Эйлер был женат два раза и имел от первого брака тринадцать детей, из которых восемь умерли в ранних годах. Трое его сыновей заняли видное положение в обществе, особенно старший, следовавший не без славы по стопам своего отца. Посмертными трактатами Леонарда Эйлера еще многие годы заполнялись мемуары Петербургской академии.

Исследования Даниила Бернулли и Эйлера соприкасались очень часто, и оба великие математика не всегда были согласны между собой, но это

ДАЛАМБЕР. МЕХАНИКА ЭЙЛЕРА 273

ни разу не привело их к враждебным спорам. Далеко не столь гладки были отношения между Эйлером и третьим основателем аналитической механики — д'Аламбером. *ЖАН ЛЕ-РОН Д'АЛАМБЕР* младенцем был найден подброшенным на ступенях парижской церкви Jean le Rond 17 ноября 1717 г. и взят на воспитание женою стекольщика Аламбера. Будущий математик занимался сначала теологией (как янсенист), потом для заработка юриспруденцией, но вместе с тем со всей энергией отдавался занятиям по математике и математической физике. В 1741 г. он как математик сделался членом Французской академии, и в 1756 г., в виде особого отличия, он был назначен пенсионером академии со значительным содержанием. Своим участием в редактировании сочинения «Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers» (Париж, 1751—1780), равно как своими популярными философскими сочинениями, он нажил себе многочисленных врагов. Несмотря на это, он не покинул Франции, даже когда в 1763 г. получил от Фридриха II приглашение на место президента Берлинской академии, а от Екатерины II приглашение занять место воспитателя при наследнике престола Павле на самых блестящих условиях. В 1772 г. д'Аламбер сделался секретарем Французской академии; умер он 29 октября 1783 г. в Париже.

Эйлер открыл ряд упомянутых выше аналитических работ своей «Mechanica sive motus scientia analytice exposita» (Петербург, 1736), где, как сказано в предисловии, задачи, разрешавшиеся предшественниками, как Ньютон и Германн¹ синтетически, были им разработаны исключительно *аналитически*. Сочинение это не содержит статик и трактует в обеих книгах о *движении материальной точки*. Первая из них рассматривает движение свободной точки, вторая — движение по заданной траектории. При этом Эйлер разлагает движение по различным направлениям, сообразуясь с особенностями отдельных задач, применяя очень часто разложение по касательной и нормали. *Проектирования движения на систему трех неподвижных взаимно-перпендикулярных координатных осей он в то время еще не применял; этот прием был впервые изложен К. Маклореном* (1698—1746), профессором математики в Абердине и Эдинбурге, в его знаменитом математическом сочинении «A complete system of fluxions», 1742 г.²

В механике Эйлера речь идет еще о движении отдельных точек, но в это время уже стали заниматься *системами точек, каким-либо образом связанных друг с другом или действующих друг на друга*. В этих проблемах динамические и статические отношения переплетались более сложным образом, чем в случае движения точки по определенному пути, так как при существовании связи между точками, последние были подчинены более разнообразным связям, чем в первом случае. Каким образом действовали эти связи, это не было выяснено и составляло предмет споров. Поэтому, прежде всего, старались найти общие принципы, которые давали бы возможность аналитически выразить действие связей. В этом особенно посчастливилось д'Алам-

¹ „Phoronomia, seu de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum, Амстердам, 1716.

² *Lagrange, Mécanique analytique, Париж, 1788, стр. 165.*

274 ПРИНЦИП ДАЛАМБЕРА. ГИДРОДИНАМИКА

беру. В своем «Traité de dynamique» (Париж, 1743) он устанавливает принцип, по которому все уравнения движения сводятся на условия равновесия. Этот принцип д'Аламбера (корни которого уже можно найти в исследованиях Якова Бернулли о центре качания) гласит: *если на систему связанных каким-либо образом точек действуют силы, то часть последних выявляется, производя движение; другая же часть уравновешивается существующими между точками связями и теряется. При этом утерянные силы действуют так, что если бы они одни были приложены к точкам системы, то они в любой момент поддерживали бы равновесие. Из условий этого равновесия и вытекают уравнения движения всей системы.* На основании этого принципа д'Аламбер объявил, как мы уже упоминали, спор о сохранении сил не имеющим значения; но и при посредстве принципа д'Аламбера уравнения все еще получались с большим трудом; эти трудности были устранены лишь впоследствии настоящим основателем нашей аналитической механики, Лагранжем.

Гидродинамика тоже получила около 1740 г. научное аналитическое основание в сочинении Даниила Бернулли «Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii» (Страсбург, 1738), где уравнения движения жидкостей были выведены при посредстве общего принципа сохранения живой силы, согласно которому часть жидкости приобретает при падении такую скорость, которая достаточна для обратного поднятия ее на высоту, с которой она упала. Отец его Иоганн Бернулли не вполне был согласен с непосредственным приложением указанного принципа и вывел эти результаты другим методом. Так же поступил и Маклорен в упомянутом выше сочинении; но выводы обоих, не будучи более строгими, чем у Даниила Бернулли, были менее ясными. Д'Аламбер в своих гидродинамических исследованиях воспользовался собственным принципом и результаты изложил в «Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides» (Париж, 1744). Впрочем, эта работа не вполне удовлетворяла его самого, и он до конца жизни старался пополнить ее. Так, в 1752 г. появился его «Essai d'une nouvelle théorie sur la résistance des fluides»; затем тому же вопросу был посвящен ряд статей в его «Opuscules mathématiques» (Париж, 1761—1768).

Динамика упругих жидкостей, главным образом теория постоянных ветров, в свою очередь занимала физиков того времени. В 1746 г. Берлинская академия объявила премию за решение вопроса: *найти закон, которому следовал бы ветер, в случае, если бы земля была сплошь окружена водой.* В «Reflexions sur la cause générale des vents», сочинении очень ценном с математической стороны, увенчанном премией, д'Аламбер объясняет (впрочем, не вполне удовлетворительно) пассаты исключительно как воздушные приливы, производимые наподобие морских приливов, притяжением Солнца и Луны. Гадлей¹ уже в 1735 г. («Philos. Trans.») дал пассатам то самое объяснение, какое принято в настоящее время, но оно осталось, по-видимому, мало известным.

¹ По Поггендорфу (Biogr. liter. Handwörterb., I, стр. 987), не Джон Гадлей, известный изобретатель зеркального секстанта, а Джордж Гадлей, мало известный член Королевского общества.

ЗАДАЧА О ТРЕХ ТЕЛАХ. ГРАДУСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ 275

Говоря об успехах механики, следует упомянуть и о *задаче трех тел*. Лучшей проверкой теории тяготения Ньютона было объяснение ею запутанного движения планет. Задача вычислить движение Луны, исходя из взаимного притяжения между нею, ее планетой и Солнцем превратилось в общую задачу *определить движения трех тел, которые взаимно притягиваются пропорционально массам и обратно пропорционально квадратам расстояний*. В 1747 г. д'Аламбер представил Парижской академии решение этой задачи; в этом же году появилось решение Клеро; Эйлер в свою очередь работал над этой задачей. Интересно, что для скорости лунного апогея у них получалась величина на половину меньше действительной. Это повело к поправкам, и в 1751 г. Клеро получил премию Петербургской академии уже за исправленное решение, которое в полном виде появилось в 1765 г. в его «*Théorie de la lune*». Д'Аламбер изложил свою теорию в «*Recherches sur plusieurs points importants du système du monde*» (3 тома, Париж 1754—1756 г.), а Эйлер в 1753 г. в сочинении «*Theoria motus lunae*». Последнее получило наибольшее практическое применение, так как оно послужило основанием для составления Тобием Майером знаменитых лунных таблиц.

Только что упомянутый *Алексис Клод Клеро* (1713—1765) принадлежал к разряду ранних математических гениев и уже в 18 лет был членом Парижской академии. Для физики впрочем, он не имел большого значения, потому что его работы были чисто математические. Для нас важнее всех других его сочинений знаменитый трактат «*Théorie de la figure de la terre*» (Париж, 1743), в котором в общем виде и правильно разработан вопрос о равновесии жидкостей. Ньютон из своей теории вывел сжатие земли в отношении 229:230, но градусные измерения обоих *Кассини* (*Giovanni Domenico Cassini*, 1625—1712 г. и его сын *Jacques Cassini*, 1677—1756 г.), произведенные при содействии *Маральди* и *Ла-Гира*, та юге (между Мальвуазеном и Коллиуром) и на севере (между Амьеном и Дюнкирхеном) Франции в промежуток между 1683—1718 гг., дали для величины 1° на юге 57 097 туазов, а на севере 56 960 туазов. *Результаты измерения стояли, таким образом, в прямом противоречии с теорией сжатия и заставляли скорее считать землю удлиненной*. Отсюда произошел длинный спор между англичанами и французами, побудивший последних снарядить новую экспедицию для градусного измерения. Одна партия под начальством *Буге* (с ним мы еще встретимся как с оптиком) и *Шарля Мари де-ла Кондамина* (1701—1774) отправилась в 1735 г. в Перу и закончила свою задачу в 1742 г., найдя для 1°: 56 734 туазов. Другая партия, под начальством *Мопертюи* и *Клеро* в качестве помощника, отправилась в Лапландию и нашла здесь (1736—1737) для 1° 57 438 туазов. *Эти измерения доказали несомненное сжатие земли, но все еще не вполне согласовались с теорией, так как они давали сжатие почти вдвое больше ожидаемого*.

Начальник северной экспедиции *Пьерр Луи Моро де-Мопертюи* (1698—1759), про которого злобные враги утверждали, будто он — бывший драгунский капитан — обязан своим высоким положением скорее успехами в салонах, чем на научном поприще, сыграл известную роль и в механике, установив общий принцип для аналитического ре-

276 ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ

шения всех механических задач. Окончив градусные измерения, Мопертюи отправился по приглашению Фридриха II в Берлин организовывать там академию. Но так как в этом же году началась первая Силезская война, то открытие академии последовало лишь в 1745 г., когда Мопертюи и сделался ее президентом. В Берлине он оставался 10 лет и вернулся во Францию из-за литературных несогласий, преимущественно с Вольтером. Умер он в Базеле. *Принцип Мопертюи это начало наименьшего действия*, которое в более узком применении мы встретили уже у Герона и Ферма. Работы по этому вопросу он напечатал в 'мемуарах как Парижской (1744), так и Берлинской (1746) академий под заглавием: «Les lois du mouvement et du repos déduites du principe métaphysique». Принцип этот гласит: *если в природе происходит само по себе какое-либо изменение, то необходимое для этого количество действия есть наименьшее возможное. Количество действия определяется при этом как произведение массы на скорость и на пройденный путь.* Как уже видно из заглавия, Мопертюи устанавливает свой принцип метафизически, в силу мудрости создателя и управителя вселенной, исключая возможность бесполезной траты работы. В своих же приложениях этот принцип по существу дела совпадает с началом виртуальных скоростей. Это вытекает особенно ясно из приложения принципа к случаю равновесия, так называемого «закона покоя», который гласит: *условия равновесия удовлетворены, если необходимое для нарушения его количество действия вблизи положения равновесия представляет минимум.* Поэтому-то в учебниках механики начало наименьшего действия вполне обоснованно не признается самостоятельным принципом.

Поиски общих принципов механики и споры по их поводу составляют отличительную черту этого и последующего периода. Как в философии постепенно все больше приближались к исследованиям теоретико-познавательного характера, так и в механике обратились к критической проверке основ этой науки, и оказалось, что даже самые древние, давно оправдавшиеся на опыте законы были либо недостаточно, либо неверно, либо вовсе не доказаны. Так, многие механики вслед за Вариньоном хотели вывести закон рычага из параллелограмма сил, а другие, например Иоганн Бернулли, считали правильным обратное. *Кестнер* («Theoria vestis et compositionis virium evidentius exposita», Лейпциг, 1753 г.), исходит из равноплечевого рычага, затем переходит к рычагу второго рода, затем к рычагу первого рода, затем к неравноплечему рычагу, коленчатому рычагу и отсюда, наконец, к параллелограмму сил. Д'Аламбер («Traite de dynamique») выводит последний непосредственно, представляя тело, на которое действуют две силы, лежащим в плоскости, которая движется таким образом, что тело остается в покое. *Закон сообщающихся сосудов* выводится Даниилом Бернулли из положения, что поверхность покоящейся жидкости горизонтальна. Д'Аламбер считает этот вывод недостаточным и привлекает еще на помощь закон, согласно которому давление распространяется по жидкости во все стороны равномерно. Однако все эти старания не увенчались решительным успехом, так как и «до сих пор существует расхождение во взглядах, следует ли считать закон об инерции и закон параллелограмма сил результатами

*опыта, аксиомами, или же законами, которые можно и должно логически доказать»*¹.

Успехи физики, поскольку они не касались теоретической механики и электричества, были под конец описываемого периода незначительны; впрочем, градусные измерения в Перу и Лапландии были во многих отношениях важны и для физики. Кондамин нашел в Квито для скорости распространения звука 339 м, а в значительно более жаркой Кайенне 357 м, тогда как во Франции уже ранее того (1738—1740) комиссия Парижской академии, состоявшая из *Кассини де-Тюри*, *Маральди* и *Ля-кайля*, нашла эту скорость около 337 м. На уклонение этих измерений от требований ньютоновской формулы снова обратил в 1740 г. внимание женевский профессор *Габриэль Крамер* (1704—1752), восстававший против мысли Ньютона, что частицы воздуха производят колебания наподобие маятника. По мнению Крамера им можно было бы приписать с неменьшей вероятностью и много других форм колебаний. Эйлер защищал взгляд Ньютона и опроверг Мерана, утверждавшего, что воздух должен состоять из частиц различных плотностей, потому что иначе тоны разной высоты не могли бы распространяться в воздухе с одинаковой скоростью.

Полную теорию тонов дал Эйлер в своем «*Tentamen novae theoriae musicae*» (Петербург, 1739). Исходя из чисто математической точки зрения, согласно которой созвучие интервала определяется простотою отношения соответствующих чисел колебаний, он вывел целый ряд систем тонов, из которых только одна почти вполне совпадает с нашей диатоническо-хроматической. Пределы слышимости он определил тонами между 30 и 7500 колебаниями, позднее между 20 и 4000, т. е. примерно 8 октав.

Вопрос об обертонах был правильно разрешен, по крайней мере математически, *Даниилом Бернулли* («*Mém. de Berl.*, 1753) доказавшим, исходя из положения об одновременном существовании малых колебаний, что всякая струна может колебаться одновременно, как целое и частями, производя таким образом наряду с основным звуком и более высокие тона.

Физиологическая оптика постепенно привлекала к себе много работников и сделала заметные успехи. К знаменитой оптике *Роберта Смита* (1689—1768), появившейся в 1728 г. в Кембридже, был присоединен трактат д-ра медицины *Джюрина* (1684—1750) «О ясном и неясном видении», в котором говорится о *кругах светорассеяния, иррадиации, пределах видимости мелких предметов, мерцании звезд и пр.* Здесь же Джюрин высказал следующее положение: *за всяким ощущением, продолжавшимся долгое время, следует по прекращении его противоположное.* Этим же положением пользуется *Бюффон*² для объяснения субъективных или физиологических цветов, которые он очень подробно исследует в «*Парижских мемуарах*» в 1743 г. Если на лист белой бумаги наложить небольшой квадрат из красной бумаги и

¹ *Kirchhoff*, Vorlesung. üb. math. Physik. Vorrede zur 1-en Aufl., Лейпциг, 1876.

² Жорж Луи Леклерк граф де-Бюффон (1707—1788) директор королевского сада в Париже и член академии.

278 ТЕРМОМЕТР РЕОМЮРА

долго смотреть на него, не сводя глаз, то вокруг красного квадрата появляется зеленая кайма, а если красный квадрат удалить, не сдвигая глаз, то место, которое было занято квадратом, покажется окрашенным в зеленоватый цвет. Бюффон первый заметил окрашенность теней; при восходе и закате солнца они представлялись ему иногда зелеными, но большею частью голубыми; он отмечает, что всякий может видеть это явление, стоит только при восходе или закате солнца посмотреть на тень собственного пальца на листе белой бумаги. Позднее аббат Мазеас («Mém. de Berlin, 1752»), наблюдая одновременно на белой стене тени одного и того же тела от луны и свечи, заметил, что первая тень была окрашена в красноватый цвет, а вторая в голубоватый. Подобные цвета объяснялись в то время либо окрашенностью паров в воздухе, либо цветом самой атмосферы. Очень оригинально объясняет в приведенном мемуаре Бюффон *косоглазие*. По его мнению, косящий глаз слабее нормального; человек это чувствует и употребляет его в дело не так охотно, как нормальный, все равно, как мы не любим употреблять в дело неловкую левую руку. Поэтому-то косой и смотрит на предметы одним здоровым глазом. Бюффон допускает, что эта причина может быть не единственная, но она, во всяком случае, главная, так как ему лично удавалось излечивать косоглазие тем, что он завязывал здоровый глаз и тем заставлял человека употреблять в дело другой.

О *приспособлении* (аккомодации) глаза к различным расстояниям, *об оценке расстояния* предметов, *о кажущейся величине луны на горизонте*, *о едином видении двумя глазами* и пр. шли длинные споры, не давшие правильного решения вопросов и даже не наметившие основ для последних.

Около 1740 г. *термометр* получил, наконец, свои последние шкалы, получившие общее признание. *Рене Антуан Фершо де-Реомюр* (1683— 1757), член Парижской академии, первый стал градуировать термометры по двум (постоянным точкам — замерзания и кипения воды. Свой способ он описал в мемуарах Парижской академии (1730 и 1731) в статье: «Règles pour construire des thermomètres, dont les degrés soient comparables». Он наполнял термометрические трубки разведенным спиртом, помещал их сначала вводу, доведенную до замерзания охладительной смесью, и обозначал уровень спирта нулем. Затем он переносил термометр в кипящую воду, ставил против нового уровня спирта цифру 80 и трубку запаивал. Число 80 было выбрано не произвольно, а потому что согласно опытам Реомюра жидкость в его термометрах расширялась от точки замерзания до точки кипения на $\frac{80}{1000}$ своего объема. Термометры Реомюра были приняты очень охотно и быстро распространились, но вскоре стали раздаваться возражения, особенно против применения спирта. *Мушенбрек* утверждал, что спирт постепенно теряет способность расширяться, но аббат Нолле это опроверг. Возражение *Делюка*, что спирт расширяется менее равномерно, чем ртуть, было, наоборот, основательно. Так как при сличении ртутных и спиртовых термометров показания их оказались несогласными, то Делюк стал употреблять ртутный термометр с реомюровой шкалой. Около того же времени (1742) шведский физик *Цельсий*

СЕВЕРНОЕ СИЯНИЕ. ПОДКОВООБРАЗНЫЕ МАГНИТЫ 279

(Андерс Цельсий, 1701—1744 г., профессор астрономии в Упсале) вернулся к ртутным термометрам, разделив для большего удобства промежутки между обеими постоянными точками на 100 градусов. Точку замерзания он обозначил 100°, а точку кипения 0°. По предложению Мэртена *Штремера* (Оребро, 1707, Упсала, 1770) вскоре было введено обратное обозначение¹.

Были сделаны попытки объяснить *северное сияние*, но они не увенчались успехом. *Мэран*² объяснял этот свет проникновением в отдельных местах в нашу атмосферу солнечной атмосферы. *Эйлер*³ считал свет северного сияния излучением самой земной атмосферы, вызванным, подобно хвостам комет, солнечными лучами. Вместе с тем в это время было замечено два важных факта, касающихся связи между северным сиянием и магнетизмом, которых, однако, объяснить не смогли (впрочем, и до сих пор мы еще не имеем точного их объяснения). *Олаф Петер Гьортер*, следивший по поручению Цельсия на Упсальской обсерватории за магнитной стрелкой, заметил, что 1 марта 1741 г. во время северного сияния она прошла в сильное колебание. *Мэран* же заметил, что корона северного сияния лежит не только в магнитном меридиане, но и на продолжении линии магнитного наклона. Над усовершенствованием *буссоли склонения* работали Даниил Бернулли и Эйлер, стараясь определить условия, при которых показания различных стрелок наклона были бы согласны между собой. За такую работу Бернулли получил в 1743 г. премию Парижской академии, а Эйлер дополнительную премию. Около того же времени, вероятно по указанию Даниила Бернулли, базельский механик *Иоганн Дитрих* (ум. в 1758 г.) стал готовить подковообразные магниты с арматурой; по крайней мере, на дитриховском магните Бернулли нашел закон, что *подъемная сила подковообразных магнитов пропорциональна их поверхностям или кубическим корням из квадратов их весов*.

Самым знаменитым экспериментальным физиком и преподавателем физики в конце описываемого и в начале следующего периода был *Питер фон Мушенбрек*, «великий Мушенбрек», как его называет Фишер в своей «Истории физики». Он родился 14 марта 1692 г. в Лейдене, с 1719 по 1723 г. был профессором математики и физики в Дуйсбурге, с 1723—1729 г. — в Утрехте, а затем вплоть до смерти (1761) оставался профессором физики в Лейдене, несмотря на многократные приглашения в Копенгаген, Геттинген, Берлин и т. д. Его обширные работы по физике, его «*Elementa physices*» (1729) и, наконец, «*Introductio ad philosophiam naturalem*» (издано посмертно, в 1762 г.) пережили много изданий и получили широкое распространение в переводах на французский и немецкий языки. В большинстве опытных физических работ своего времени он принимал самое видное участие, и однако, если оставить в стороне его участие в изобретении лейденской банки, почти ничего не остается, что бы напоминало его имя от-

¹ *Wolf*, Handb. d. Mathem. u. Phys.. I. стр. 247.

² «*Traité physique et historique de l'aurore boréale*», Париж, 1733.

³ «*Recherches physiques sur la cause de la queue de comètes, de la lumière boréale et de la lumière zodiacale*» («*Berl. Mém.*», 1746).

280 МУШЕНБРЕК. БАЛЛИСТИКА

даленному потомству. Как пример существовавшего тогда разделения физики по отделам, приводим перечень глав из его «Introductio ad philosophiam naturalem». 1) О философии и правилах философствования (главным образом о разделении наук). 2) О телах вообще и их свойствах. 3) О пустом пространстве. 4) О пространстве, времени и движении. 5) О силах давления. 6) О силах движущихся тел. 7) О тяжести. 8) Механика (простые машины). 9) О трении. 10) О движении машин. 11) О сложном движении. 12) О движении тяжелых тел по наклонной плоскости. 13) О качании маятника. 14) О метательном движении. 15) О центральных силах. 16) О твердых, упругих и других телах. 17) Об ударе. 18) Об электричестве. 19) О магните. 20) О притяжении тел. 21) О сцеплении и твердости. 22) О жидкостях вообще. 23) О давлении жидкостей. 24) Истечение жидкостей из отверстий. 25) О фонтанах. 26) Удельный вес. 27) Вода. 28) Огонь. 29) О свойствах света вообще. 30) О телах, поглощающих свет. 31) О преломлении света и преломляющих телах. 32) О преломлении; света плоскими и сферическими поверхностями. 33) О свете, переходящем из воздуха в стекло и отсюда опять в воздух. 34) О различной преломляемости лучей и о цветах. 35) Описание глаза. 36) О зрении. 37) Диоптрика. 38) Катоптрика. 39) О воздухе. 40) О звуке. 41) О воздушных метеорах вообще. 42) О водяных метеорах. 43) Об огненных метеорах. 44) О ветрах.

Следует упомянуть еще о некоторых специальных проблемах, стоящих на границе между математической и опытной механикой. Мы уже говорили, что Иоганн Бернулли занимался определением *траекторий бросаемых тел* при различных условиях сопротивления среды, это исследование не имело, однако, практического значения, так как выражения для путей, к которым пришел Бернулли, были по тогдашнему состоянию анализа либо вовсе неразрешимы, либо слишком сложны для практического их применения. Кроме того, для практики на первом плане все еще стоял вопрос об определении действительного, существующего в природе закона сопротивления. Кроме того, теории огнестрельного оружия не доставало более точного определения начальных скоростей снарядов; во всяком случае, все таблицы, вычисленные согласно существовавшим тогда теориям, не соответствовали в сколько-нибудь приемлемой степени данным прямых наблюдений. Поэтому *при разрешении баллистических задач были вынуждены оставить путь математического анализа и обратиться к непосредственному опыту*. Роберт Андерсон («The genuine, use and effects of the gun» Лондон, 1674) и Блондель («L'Art de jeter les bombes», 1685) первые пытались исправить старую теорию полета, согласно которой путь снаряда вследствие ничтожности сопротивления воздуха тяжелым телам считался параболическим; при этом, однако, они сохранили неизменными исходные положения. Позднее артиллерийский офицер Рессонс (1716) на основании прямых наблюдений над действием огнестрельных орудий доказал совершенную невозможность согласовать эти явления с теорией, в силу чего эта точка зрения была оставлена.

Практическими опытами с большим успехом занялся впервые **БЕНДЖАМИН РОБИНС** в 1740 г., изложивший свои результаты

БАЛЛИСТИКА. СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ 281

в сочинении «*New principles of gunnery*» (Лондон, 1742). Он постарался, прежде всего, определить скорость снаряда в любой точке его пути, так как от нее зависит сопротивление воздуха и, в конце концов, определение самого пути. С этой целью он устроил особый маятник (баллистический), в тяжелое тело которого он и направлял ядра при выстреле. Из веса маятника, его размеров и отклонения в результате выстрела определялась скорость ядра при ударе в маятник. Тщательно проверяя затем гипотезы о сопротивлении воздуха, он установил, что для малых скоростей сопротивление действительно почти пропорционально квадрату скорости, но что для больших скоростей, в несколько сот футов и секунду, сопротивление возрастает быстрее, чем квадрат скорости. Он подтвердил далее, что баллистическая кривая ни в коем случае не представляет собой параболы и даже не приближается к ней и что восходящая часть кривой значительно длиннее нисходящей. К сожалению, Робинс был до такой степени занят другими делами, что не мог продолжать своих опытов, а вскоре после того он умер. Эйлер так высоко оценил его сочинение, что перевел его с дополнительными примечаниями и издал его под названием: «*Neue Grundsätze der Artillerie mit Anmerkungen von L. Euler*» (Берлин, 1745).

Закон сопротивления жидкостей продолжал играть большую роль и в теоретической физике, но по поводу его не пришли к согласованиям выводам. В течение всего этого периода самые знаменитые физики работали над этим вопросом, который проник почти во все области механической физики. Еще в 1710 г. Ньютон побудил Гауксби произвести опыты падения тел в соборе Павла для определения сопротивления воздуха. Дезаюлье продемонстрировал в присутствии английского короля, что в трубке высотой в 15 футов гиней и кусок бумаги одновременно достигли дна трубки, когда воздух из нее был выкачан, а в наполненной воздухом трубке кусок бумаги отстал на половину высоты от гиней. Дальнейшие опыты по сопротивлению воздуха и воды он показал перед многими членами Королевского общества в 1719 г. Некоторые физики, например Ньютон и Грэгг, пытались разрешить эту задачу при помощи маятника, но тоже без решительного результата. С'Гравезанд² («*Elementa physices*», III кн., 15 гл.) вывел из множества опытов, что сопротивление жидкости состоит из двух частей, из которых одна, проистекающая от сцепления частиц жидкости, пропорциональна скорости, а другая, происходящая от инерции жидких частиц, пропорциональна квадрату скорости. Даниил Бернулли пришел в своих теоретических работах к таким же взглядам. Борда (Жан Шарль, 1739—1799), наобо-

¹ Родился в 1707 г. в Бате; изучал сначала теологию, потом физику и математику. В 1742 г. был членом артиллерийской комиссии в Вульвиче. В 1749 г. отправился в Индию в качестве инженерно-генерала и умер в Мадрасе в 1751 г.

² Вильгельм Якоб с'Гравезанд (1688—1742), сначала адвокат в Гааге, потом профессор математики и астрономии и, наконец, с 1734 г. профессор физики в Лейдене. Его «*Physices tlementa mathematica, experimentis confirmata, sive Introductio ad pliilosopham Newtoniam*», появились первым изданием в 1721 г., вторым в 1725 г. и третьим в 1742 г. Многие из его приборов для лекций служат и до сих пор образцами; собрание их хранится в Лейдене.

282 СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

рот, вернулся к старым воззрениям, выведя тоже из многочисленных опытов, что *сопротивление жидкостей*, во всяком случае при наблюдаемых им скоростях, *почти пропорционально квадрату скорости*. Работы его были напечатаны в «Парижских мемуарах» (1763, 1767, 1770). Так при этом старом ньютоновском законе сопротивления мы и остались до настоящего времени, хотя и установлено, что он может значительно видоизменяться от множества причин; так в капельножидких веществах — от запруживания, а в упругих жидкостях — от сжатия их движущимися телами.

IV. ПЕРИОД ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ОТ ТРЕНИЯ

(Приблизительно от 1750 до 1780 г.)

Спокойное развитие и непрерывные успехи нашей науки всего яснее показывают, что она постепенно попала на настоящую почву и приняла верное направление. Правда, по временам движение сбивается с прямого пути на окольные дороги, иногда путь разбивается на мелкие тропинки и теряется из виду главная цель; но сбиться в область обманов и грез теперь уже почти невозможно. И в рассматриваемом периоде физика развивается в прежнем духе, двигаясь вперед старыми путями, за единственным исключением, основание которому положено было в предшествующий период.

Математическая физика, правда, уже не видит своих первых работников, заложивших ее фундамент: поколение бурно гениального времени исчезло. Но оно оставило по себе могучих преемников, которые талантливо ведут науку вперед в духе ее основателей без перерывов и замедлений, обогащая механику, акустику, оптику и вообще все отделы физики, служившие до того предметом математической обработки, исследованиями, которые ни по количеству, ни по качеству не уступают работам предшественников.

Область физики все еще остается почти совсем закрытою для натурфилософии. Декарт окончательно побежден и вытесняется из своего последнего убежища — теоретического учения о магнетизме и электричестве. Французские материалисты, хотя и имеют в своем составе знаменитых математиков, например д'Аламбера, стараются ввести свое учение, прежде всего в социальные науки и этику, о широком же его применении к физике не заботятся, за отсутствием времени и интереса. Господствующая в Германии вольфова школьная философия оказывается малопродуктивной; воспринимая более или менее пассивно данные физики, она не подвергает их какой-либо самостоятельной переработке. Даже наш учитель философов Кант стоит вплоть до 1760 г. еще на почве философии, и лишь затем, пройдя школу юмовского скептицизма, в 1770 г. превращается в критического философа. С завершением этой эволюции, особенно со времени появления его «Критики чистого разума», Кант приобретает значение и для физики, так как, начав собою новый период философии и воз-

284 ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

двигнув прочное здание общих философских начал, он положил основание и для возникновения позднейших натурфилософских систем. Знаменательно, что и эти системы были построены совершенно по старому шаблону, вне всякой связи и содействия обоих других методических факторов физики, поэтому они улетучились бесследно, как облака в воздухе, лишенные какой бы то ни было связи с твердой почвой. Впрочем, это эфемерное возрождение натурфилософии относится, собственно, к последующему периоду нашей науки, и мы встретимся с ним дальше.

В *опытной физике* многочисленные открытия в области электричества от трения начинают собою новую эпоху. *Изумительные явления электрического света, электрического удара, объяснение молнии, непосредственное извлечение электричества из атмосферы* возбуждают всеобщий энтузиазм, даже больший, чем возбудили сто лет назад опыты Герике. В самые широкие круги проникает желание познакомиться с новыми электрическими явлениями и испытать их удивительное действие на себе; кому не удастся побывать в физических лабораториях, тот дает себя электризовать для улучшения своего здоровья, но, во всяком случае, за счет собственного кошелька, хотя бы в ярмарочных балаганах на народных празднествах. *Даже в среде многих ученых трезвость взгляда постепенно стала уступать место некоторого рода опьянению;* и как сто лет назад все объяснялось воздушным давлением, так теперь *электричество приводилось в связь со всевозможными проблемами и считалось причиной самых разнообразных явлений.* Уильям Стекли («The philosophy of Earthquakes natural and religious», Лондон, 1750) считал землетрясения электрическими ударами. Андреа Бина утверждал в 1751 г., что при землетрясении полости внутри земли, наполненные водой, играют роль Лейденских банок, а даже *Беккария* считал в 1758 г. землетрясения явлениями выравнивания электричества между атмосферой и земной корой. Менее странной должна казаться мысль знаменитых физиков *Соссюра* и *Делюка* об участии электричества в *испарении и образовании дождя*; но в мысли *Губе* («Unterricht in der Naturlehre». 1793—1794) будто пузырьки пара от электричества расширяются и поднимаются кверху, а при выравнивании электричества сжимаются и падают вниз в виде дождя, опять заметно то увлечение, которое приписывало электричеству участие чуть ли не во всех явлениях природы.

Впрочем, это увлечение, конечно, принесло большую пользу дальнейшему развитию учения об электричестве, потому что оно привлекло в эту область такое значительное число работников и возбудило в них столько рвения, что это учение сделало огромные успехи в течение каких-нибудь 30 лет (приблизительно с 1750 по 1780 г.). За *этот короткий срок были изучены самые важные из явлений электричества от трения; было сконструировано большинство электрических приборов, а Кулоном были уже установлены и количественные законы электрического действия.* Таким образом новая область созрела даже для применения матема-

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 285

тики. Рядом с этим возникло несколько *теорий электричества*, допускавших связанное объяснение явлений. К сожалению, эти теории должны были принять за основу существование особых *электрических жидкостей*, вследствие чего установление связи между электрическими силами и другими физическими силами, следовательно, изучение явлений электричества с более общих точек зрения сделалось почти невозможным. Правда, некоторые высказывали предположения о тождестве *электрических жидкостей* с другими уже принятыми жидкостями, например с только что признанным тогда *теплородом*, или с *флогистоном*, горючим началом тогдашних физиков, но для подобных параллелей не было никаких фактических оснований; поэтому, в сущности, приходилось ограничиваться гипотезой *об одной или двух специфических электрических жидкостях*. Гипотеза эта повела к принятию *соответствующих магнитных жидкостей* для объяснения магнитных явлений. Как ни печально такое положение дела, но осуждать его нельзя, потому что принципиально мы и теперь недалеко ушли от него вперед.

В области оптики следует, прежде всего, отметить *измерения силы света и устройство ахроматических зрительных труб*. В теории света, несмотря на все усилия *Эйлера*, не удалось выбраться из теории истечения ньютоновской школы. Связь физики с химией, становившаяся по мере развития последней все более тесной, вызвала ряд *исследований по теплоте*, повела к установлению понятия скрытой теплоты и к признанию *самостоятельного теплового вещества*. Продолжительный спор об *испарении и улетучивании жидкостей*, равно как о причине этих явлений, несмотря на обоюдный интерес к нему со стороны физиков и химиков и, несмотря на ряд тщательных работ, остался нерешенным. Следует еще указать, что на конец этого периода приходится гениальные усовершенствования паровой машины *Уаттом*. Благодаря последнему эта машина приняла ту форму, какую она в существенных чертах сохранила и поныне, — форму, которая сделала из нее универсальную рабочую машину нового времени. Уатт и его открытия начинают собой эпоху блестящего развития машинной техники, поэтому имя Уатта составляет эпоху не только в истории техники, но и в истории человечества.

После непродолжительного перерыва ученые снова принялись за *ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ*, которые сразу дали самые поразительные результаты, привлекли в эту область массу работников и вызвали громадное количество опытов. Во время опытов по электричеству лейпцигского физика *Христиана Августа Гаузена* (1693—1743) один из его слушателей *Литцендорф* высказал мысль, что электризацию стеклянной трубки движениями рук было бы целесообразнее заменить вращением укрепленного на оси стеклянного шара, который можно приводить в движение рукояткой. Гаузен тотчас же осуществил это предложение и описал новую машину для электризации стекла в брошюре «*Novi profectus in historia electricitatis*» (Лейпциг, 1743). Шары из серы Герике и стеклянные шары Гауксби были, таким образом, забыты, но

286 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

зато теперь принялись за усовершенствование машины Гаузена. *Георг Маттиас Бозе*, профессор физики в Виттенберге (1710—1761), скоро заметил, что электрическое действие может быть усилено, если отводить электричество от шара жестяной трубкой. Сначала этот первый кондуктор электрической машины держал в руках человек, изолированный от пола; потом трубку стали подвешивать на шелковых шнурках и приводили ее в соприкосновение с шаром посредством пучка проводящих нитей, воткнутых одним концом в трубку, а другим скользящих по шару. Бозе опубликовал свои исследования в ряде сочинений от 1738 до 1749 г. Он показал, что *тела от перехода на них электричества не изменяются в весе*, и, по-видимому, зная, что при натирании шара рукой наэлектризовывается и последняя; его удивляло только то обстоятельство, что от изоляции натирающего человека действие электричества не усиливается, а наоборот, ослабевает. Дальнейшие усовершенствования электрической машины были сделаны *Винклером*, описавшим их в двух брошюрах: «*Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Electricität, nebst Beschreibung zweier elektrischen Maschinen*» (Лейпциг, 1744) и «*Die Eigenschaften der elektrischen Materie und des elektrischen Feuers, nebst etlichen neuen Maschinen zum Elektrisieren*» (Лейпциг, 1745).

Иоган Гейнрих Винклер (1703—1770 г.), сначала профессор греческого и латинского языков, потом профессор физики в Лейпцигском университете, укрепил на оси машины для усиления ее действия четыре шара и заставлял натирать их руками двух человек. Так как эта установка была довольно неудобна, то по разумному совету лейпцигского токаря Рислинга руки людей были заменены в процессе трения подушками. Последние прижимались к стеклянным шарам или цилиндрам¹ сначала винтами, а позднее пружинами. Сравнительно сильное действие новой машины возбудило большой интерес, и все начали стараться устраивать подобные или же еще более сильные машины. При этом все еще обращали наибольшее внимание на электрическую искру или электрический огонь. *Христиан Фридрих Людольф* (1707—1763), врач и член Берлинской академии, в заседании Берлинской королевской академии в 1744 г. зажег эфир посредством наэлектризованного железного прута; Винклер зажег спирт своим пальцем; англичанин *Генри Майльс* сделал то же с фосфором и горючими парами, а *Уильям Уатсон* зажег электрической искрой порох и водку. Однако вскоре, а именно в 1745 г., мир познакомился с еще более удивительным явлением.

Осенью 1745 г. *Эвальд Георг фон Клейст* (ум. в 1748 г. соборный декан в Каммине, в Померании) заявил нескольким лицам о сделанном им 11 октября новом открытии. В медицинскую склянку с небольшим количеством ртути или винного спирта вставляется гвоздь, и свободный конец его наэлектризовывается. От прикосновения к гвоздю получается очень сильная искра, настолько сильная, что она приводила в содрогание всю руку и плечо. Но для этого *нужно* держать склянку в руке, потому что при ее изоляции действие оказывается слабым. В этой

¹ Замену стеклянных шаров цилиндрами предложил эрфуртский профессор Гордон.

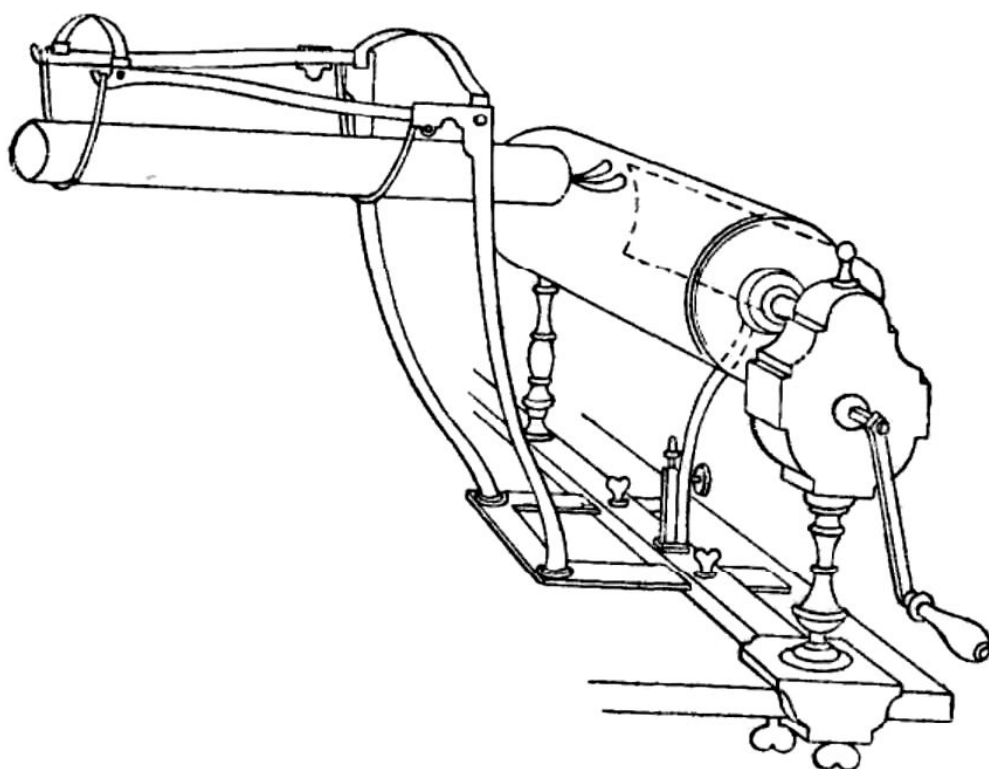
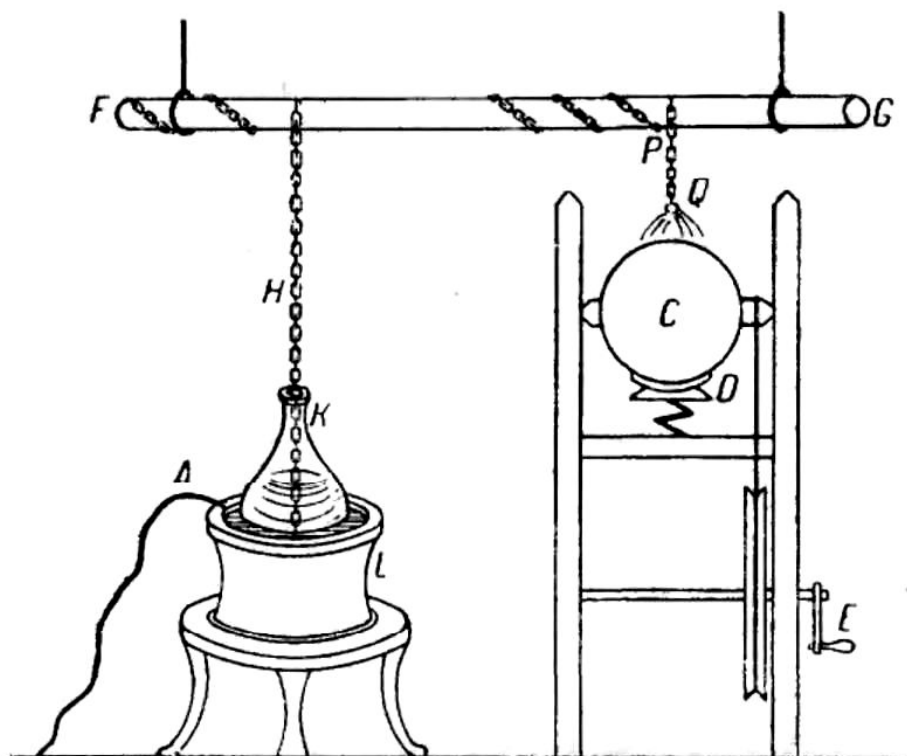
УСИЛИТЕЛЬНЫЕ БАНКИ 287

первоначальной форме *усилительной банки* рука, очевидно, играла роль наружной обкладки, а жидкость — внутренней. В то время как об открытии Клейста делались еще сообщения в германских академиях, в начале 1746 г. голландский физик Мушеибрек заявил, что то же самое открытие было сделано в Голландии в прошлом (т. е. 1745) году. Он вместе со своими друзьями пытался сохранить электричество в теле; в этих опытах принимал участие некто Кунеус, богатый гражданин города Лейдена; последний случайно дотронулся рукой до гвоздя, посредством которого электричество проводилось в воду, наполнявшую банку, для сохранения его в воде; Кунеус при этом получил очень сильный удар. Молва об этом быстро распространилась, и этот опыт стал повторяться во многих других местах. Описание этих опытов всего лучше показывает, какое огромное впечатление производило на людей эта внезапно выросшая таинственная сила. Мушенбрек писал Реомюру: «Ради короны Франции я не согласился бы еще раз подвергнуться такому ужасному сотрясению». Винклер, с жаром принявшийся за повторение опытов, говорит, что после подобного опыта у него были сильные конвульсии в теле, и кровь до того разгорячилась, что он опасался сильной горячки и принимал прохладительные лекарства. Кроме того, после этого опыта он страдал два раза кровотечениями из носу, чего с ним прежде не бывало, и такими колющими болями в руках, что он не мог писать в течение восьми дней. С его женой, которая тоже попробовала на себе действие банки, случилось то же самое. Эти явления побудили Винклера испытать, не получатся ли сильные электрические действия и без посредства человеческого тела. С этой целью, обвив вокруг балки железную цепочку, он привел последнюю в соприкосновение с оловянной тарелкой, на которой был укреплен металлический кружок, и приблизил последний к кондуктору своей машины, находившейся в металлическом сообщении с гвоздем банки. С помощью этого несколько сложного разрядника он мог получить электрические удары, не причинявшие боли. Обеспечив себя таким образом против сильных ударов, он постарался получить еще более сильные действия и устроил в 1746 г. батарею из трех банок; опустив их в подвешенном положении в воду Плейссе, он соединил медные стержни банок металлически и наэлектризовал их одновременно. От этой *электрической батареи* получались искры, которые можно было видеть и слышать на расстоянии двухсот шагов¹.

¹ Эйлер приводит в своих «Lettres a une princesse allemande» (1760— 1762) воспроизведенный на следующей странице рисунок очень еще примитивной машины с усилительной банкой. Изображение это может служить типом для первоначальной формы приборов этого рода. «С есть стеклянный шар, приводимый в движение колесом *E* и трущийся о подушку *D*. *Q* изображает пучок металлических нитей, проводящих электричество через металлическую цепочку *P* в железный прут *FG*». С прутом «соединяют другую металлическую цепочку *H*, которая опущена противоположным концом в стеклянную банку *K*, наполненную до шейки водой. Банка погружена в лоханку *L* с водой. Из воды лоханки можно, если угодно, вывести еще цепочку к полу». Для сравнения приводим рядом изображение уже более совершенной машины из «Introductio ad philosophiam naturalem» (Лейден, 1762) Мушенбрека.

288 Электрические машины Эйлера и Мушенбрека

Данцигский профессор *Гралат* (написавший историю электричества, которая появилась в печати в 1747—1756 гг.) первый заменил меди-



Черт. 14.

цинские склянки банками большей величины, вместо гвоздя стал употреблять железную проволоку с шариком на конце, а спирт заменил водой. Он тоже составлял батареи из нескольких банок и сообщал

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОЙ БАНКИ 289

электрические удары многим людям (до 20 человек) сразу, заставляя их образовать цепь, в которой один из крайних брал в руку банку, а другой касался шарика проволоки. В Англии *Уильям Уатсон* (1715— 1787 г., врач, член Королевского общества и хранитель Британского музея) старался воспроизвести эти опыты еще в больших размерах. Уже в 1747 г. он произвел при содействии *Мартина Фолькса*, *Чарльза Кэвендиша*, *д-ра Бевиса*, *Грэггама* и др. ряд опытов, при которых электричество передавалось на большие расстояния, отчасти с целью исследовать, нельзя ли измерить скорость распространения электричества. С этой целью в постепенно удлиняемую разрядную цепь между наружной поверхностью банки и внутренним стержнем были включены на отдельных расстояниях люди, которые и должны были наблюдать на себе действие ударов и скорость, с которой они наступали. Электричество проводилось один раз через Темзу, другой раз на расстоянии двух миль, частью через воду, частью по суше. При этом были сделаны *очень ценные наблюдения лучшей или худшей проводимости и потерь электричества при различных способах проводки, но измерить скорость его распространения не удалось*, так как даже при цепи в две мили длиной человек, стоявший по ее середине, почувствовал улар в то же мгновение, в которое он увидел искру. Из этого же кружка английских физиков вскоре вышел *ряд усовершенствований или, по крайней мере, существенных видоизменений в устройстве усилительной банки*. Уатсон заметил, что удар клейстовой банки чувствуется тем сильнее, чем в большем числе точек прикасаются к ее наружной поверхности. Это навело *д-ра Бевиса*. на мысль *обкладывать наружную поверхность банки сначала тонкими свинцовыми пластинками, а затем, еще лучше, листами станиоля* (оловянная фольга). Дальнейшие опыты показали, что род жидкости, которой наполняли банки, не имеет влияния на ее действие: Бевис наполнял банку вместо воды дробью и получал довольно сильное действие. Вслед за этим Уатсон заменил неудобную для работы жидкость *внутренней обкладкой, и банка получила свою окончательную форму*. Д-р Бевис был, по-видимому (личность его вообще очень мало известна), очень способный человек, так как ему *же* принадлежит установление факта, что форма банки в ее действии не играет никакой роли; он обкладывал *обыкновенный стеклянный лист с обеих сторон свинцовыми или станиолевыми пластинками, не доводя их на 1 дюйм до края стекла, и получал такое же действие, как от банок*. Уатсон описал все эти опыты в «Philosoph. Transact.» 1748 и 1749 гг.

Во Франции электричеством занимались с успехом: аббат *Жан Антуан Нолле* (1700—1770), профессор физики в Париже, член академии, принимавший участие в опытах Дюфэ, и *Гильом Лемонье* (1717—1799), лейб-медик короля, профессор ботаники и член академии. Нолле в присутствии короля провел электричество через цепь в 180 человек. Лемонье пытался измерить скорость распространения электричества и пропустил его с этой целью через проволоку в 950 туазов. Но и ему не удалось определить времени прохождения электричества, во всяком случае, это время составило не более $\frac{1}{4}$ секунды. *Нолле первый стал убивать разрядами банки маленькие живые существа,*

290 ОПЫТЫ НОЛЛЕ

например воробьев; он же первый заметил, что *электричество быстрее стекает с острия, чем с тупых тел*; он заметил *особенный запах* при истечении электричества и первый устроил род *электрометра*. Дюфэ с целью определить присутствие электричества на трубке вешал на ней нити, а Нолле пришел к мысли воспользоваться величиною угла расхождения ниток с целью измерения величины заряда. Но так как прикладывать непосредственно к нитям угломер невозможно, то он предложил измерять угол между ними на их тени. Целым рядом опытов Нолле подтвердил наблюдение Бозе, что вода, вытекающая из тонких трубок каплями, *начинает вытекать ил них сплошной струей, когда она наэлектризована*. Наконец, ему же принадлежит мысль *изучать действие электричества на растениях и на животных*. Относительно растений он полагал, что электричество способствует их росту, а в отношении животных он думал, что оно, по меньшей мере, усиливает испарения. Он полагал, что последнее действие *можно будет использовать для лечебных целей*. Впрочем, о применении электричества к медицине написал книгу уже в 1745 г. врач *Кратценштейн* из Галле; о нем же рассказывают, что в 1744 г. он излечил электричеством паралич пальца. Кроме того, известно, что в 1748 г. *Луи Жальябер* излечил посредством электрических сотрясений паралич руки, причиненный ударом молотка.

Нолле был очень ревностный экспериментатор. Изучая действие электричества при очень разнообразных условиях и ставя его в связь со всевозможными явлениями, он всегда был осторожен в истолковании результатов. Так, относительно упомянутых выше опытов с растениями и с животными он определенно замечает, что они требуют еще дальнейшего подтверждения; да и в приводимом ниже случае он оказался гораздо осторожнее своего заслуженного лейпцигского собрата, профессора Винклера. Венецианский юрист *Джиованни Франческо Пивати* сообщил в двух брошюрах 1747 и 1749 гг.¹ очень любопытные открытия. Наэлектризовав закупоренный стеклянный цилиндр с перувианским бальзамом, он заметил, что достаточно подвести к нему человека, чтобы тот почувствовал на себе действие бальзама и даже сохранил на себе долгое время запах этого вещества. Винклер в Лейпциге принялся с жаром повторять эти опыты. Наполнив стеклянный шар серой, он закупорил его так плотно, что запаха не было слышно даже при плавлении серы. Но лишь только он наэлектризовал шар, запах сделался столь сильным, что прогнал присутствовавшего при опыте друга Винклера, профессора *Гаубольдта*. С перувианским бальзамом опыты удались столь блестящие, что Винклер даже на другой день за чаем почувствовал еще во рту приятный сладковатый вкус его паров. Он нашел, далее, что душистые пары можно переводить посредством электричества через воздух из одной комнаты в другую, расположенную далеко. Аббат Нолле в свою очередь настолько заинтересовался этими опытами, что нарочно поехал в Италию их посмотреть; но заявления

¹) „Della elettricità medica, lettera del chiarissimo signoreggio Francisco Pivati al celebre signore Maria Zanotti" (1747). „Riflessioni fisiche sopra la medicina elettrica" (1749).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ. БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН 291

Пивати оказались крайне преувеличенными, так как при соблюдении всех предосторожностей ни при одном из опытов нельзя было почувствовать ни малейшего запаха. Англичане, повторявшие в доме Уатсона опыт Винклера над прониканием пахучих паров сквозь стекло при помощи электричества, тоже пришли к отрицательным результатам.

Очень удивляться таким опытам и строго осуждать экспериментаторов, с которыми случаются подобные происшествия нельзя. *Везде, где в качестве орудия исследования применяется вкус или обоняние, обманы скорее вероятны, чем невероятны, тем более, что в те времена еще не существовало теории для установления вероятности предполагаемых фактов.* История развития электрической машины тоже богата странными наблюдениями и опытами, и они легко объяснимы, так как теории машины на первых порах не существовало. У одного физика рука для натирания стекла оказывается лучшим орудием, чем шерсть или кожа; другой получает более сильное действие от натирания стекла смоченными веществами; третий утверждает, что опыты удаются всего лучше в присутствии многочисленной публики, стоящей подле машины; и вероятно все трое говорили правду, в соответствии с определенными условиями своих опытов.

Старая теория истечения электричества была рассчитана на объяснение явлений электрического притяжения и потому уже не годилась для объяснения новых наблюдений. Поэтому *Нолле придумал новую теорию одновременного оттока и притока электрической материи.* Она, однако, не выявляла различия противоположных электричеств, стеклянного и смоляного, следовательно, в свою очередь была мало приложима к объяснению новых явлений в электрической машине и в усилительной банке. Больше посчастливилось в теоретической области Уатсону. Найдя, что трущую подушку в машине нужно отводить к земле, он пришел к заключению, что *электричество получается не от трения, а переходит с подушки, — и, следовательно, косвенно из земли — на натираемое тело и здесь собирается.* Это понятие уже необходимо вело к различию двух электричеств, одного со знаком плюс, другого со знаком минус; но прежде чем Уатсон додумался до этого, эта мысль была уже развита Франклином и заслужила всеобщее признание благодаря тому, что она объяснила казавшееся столь трудным для понимания действие усилительной банки.

БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН, сын небогатого мыловара, родился 17 января 1706 г. в окрестностях Бостона. В раннем возрасте он помогал отцу; учился в школе средней руки с малым успехом и приобрел знания уже позже, самоучкой. В этом ему помогло то обстоятельство, что 12 лет он поступил в учение к своему брату, типографщику и книгопродавцу, где в свободные от служебных занятий часы он мог читать и приобрести многостороннее образование. Условия жизни молодой Америки, свобода от цехового гнета, который не чужд науке в Европе еще и до сих пор, привели к тому, что из типографщика без систематического среднего и университетского образования за короткое время получился не только выдающийся государственный человек, но и крупный ученый. С 1730 г., заведя собственную типографию в Фи-

292 БЕНДЖАМИН ФРАНКЛИН

ладельфии, он собирает вокруг себя образованных людей; на его собраниях занимаются политикой и научными, преимущественно естественноисторическими вопросами. В этом кружке Франклин начал с 1745 г. свои исследования по электричеству и более десяти лет ревностно их продолжал. Но затем отечество призвало его как многократно уже испытанного общественного деятеля на государственную службу. Франклин был два раза, с 1757 по 1762 и с 1764 по 1775 гг. представителем своей родины в Лондоне и защищал интересы соотечественников с такой смелостью и мужеством, что под конец ему лишь с трудом удалось возвратиться свободным в Филадельфию. В 1770 г. он отправился посланником Американских штатов в Париж, заключил здесь союз с Францией; позднее он принимал участие в заключении мира с Англией; по возвращении на родину он иступил в Конгресс американских штатов. Политическую деятельность он покинул в 1788 г., будучи 82 лет; умер он 17 апреля 1790 г.

Франклин был, прежде всего, практик. Своим участием в основании общепольных обществ и изданием в течение 25 лет (с 1732 г.) своего «Poor Richard's Almanac» он оказывал большое преимущественно практическое влияние на народные массы. Наука возбуждала в нем живейший интерес, но лишь постольку, поскольку она могла быть полезной в практике. В электричестве его очень интересовал вопрос о защите против гроз; метеорология была его любимым занятием, а явлениями горения он занимался ради устройства экономических печей, которые были, по собственному его выражению, его любимым коньком. Тем большую заслугу представляет то обстоятельство, что он все-таки сумел оценить значение теории и сам дал наиболее пригодную для того времени теорию электричества. Жаль только, что его научные занятия почти прекратились с 1757 г., когда он был призван на политическое поприще. Свои, ставшие знаменитыми исследования он опубликовал в письмах к Питеру Коллинсону в Лондоне, члену Королевского общества. Первое письмо датировано от 28 июля 1747 г., а последнее от 18 апреля 1754 г. Знаменитый Дэви говорит о них: «Все его исследования сопровождалось свойственной ему одному счастливой индукцией, и никто не обладал в такой мере способностью достигать больших целей с самыми незначительными средствами. Способ изложения его открытий столь же удивителен, как и самое содержание их. Он старался удалить из вопроса все темное и таинственное. Говорил он одинаково хорошо и для физика-специалиста и для физика-любителя; вдаваясь в описание деталей вопроса, он оставался одинаково ясен и занимателен, прост и приятен»¹.

Свою теорию электричества Франклин изложил уже в первых письмах. *Он принимает только один вид электрической материи и считает, что она содержится в определенном количестве во всяком теле. Если содержание ее в двух телах настолько нормально, что не происходит особого скопления электричества на поверхности, то эти тела не обнаруживают электрического взаимодействия. Если же она в обоих телах*

¹ Whewell, Gesch. d. ind. Wissensch., том III, стр. 17, прим. (имеется русский перевод Цзель «История индуктивных наук». Прим. ред.).

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ФРАНКЛИНА 293

имеется в избытке или, наоборот, в меньшем против нормы количестве, то тела отталкиваются. Если, наконец, электрической материи имеется в одном теле избыток, а в другом недостаток, то тела взаимно притягиваются.

Тело наэлектризовывается либо принимая электричество, либо отдавая его; при трении тел друг о друга одно столько же принимает электричества, сколько другое его отдает. «Отсюда,— говорит Франклин, — у нас произошли некоторые новые обороты речи. Под *V* мы подразумеваем тело, которое получает искры из стекла, и такие тела вообще называем наэлектризованными «положительно, а под *A* мы понимаем тела, которые сообщают стеклу электричество, и их мы называем наэлектризованным отрицательно, или еще *V* плюс наэлектризовано и *A* минус наэлектризовано».

Франклин, по-видимому, ничего не зная о теории Дюфэ, с ее стеклянным и смоляным электричеством. Уже позднее друг Франклина, *Киннерсли* из Бостона указал ему, что его положительное электричество совладевает со стеклянным, а отрицательное — со смоляным. В пользу своей теории Франклин приводит следующий основной опыт: когда изолированный человек натирает стеклянную трубку, то никакого различия электричества не обнаруживается, так как истечение электричества невозможно; но стоит другому изолированному человеку извлечь из трубки искру, и оба человека оказываются наэлектризованными. Но наибольшее сочувствие вызвало у физиков его удобопонятное *объяснение лейденской банки*. Открыв, что обе обкладки заряженной банки имеют противоположные электричества, он следующим образом объяснил процесс заряжения. Электричество с одной обкладки не может проникнуть через стекло к другой, но может влиять через него отталкивающим образом на электричество другой обкладки. Когда электричество сообщается внутренней обкладке банки, оно отталкивает равное количество электричества из наружной обкладки в землю. Вследствие этого внутренняя обкладка становится положительно электрической, а наружная — отрицательно электрической. Отсюда возникает напряжение электричества, которое через стекло выровняться не может, но выравнивается через проводник, сообщающий внутреннюю обкладку с наружной. После этого Франклин проделал опыт постепенного разряжения банки, перенося много раз посредством маленького пробкового шарика, подвешенного на нити, электричество с внутренней обкладки на наружную. Он заметил также и опять-таки объяснил, исходя из своей теории, что *банку можно заряжать и наоборот, а именно сообщая электричество наружной обкладке, а внутреннюю приведя в соединение с землей*. Наконец, он нашел, что *в лейденской банке электричество сосредоточено не на обкладках, а на поверхностях стекла*. Для доказательства этого он воспользовался устроенной Бевисом листовой формой усилительной банки, но при этом обкладки он сделал съёмными.

Гипотеза Фраклина о единой электрической жидкости была тотчас же сочувственно принята физиками, а его *теория громоотвода*, наоборот, вызвала очень продолжительные споры. По-видимому, в грубой форме громоотводы были известны уже в древности. Д-р Мунк пишет

294 ГРОМООТВОДЫ

в «Видеманновских анналах» (т. I, стр. 320), что в Талмуде, (Тозефта Суббота VII, конец), встречается следующее место: «Кто ставит железо на дворе, тот преступает запрет подражания языческим обычаям, но употреблять его как защиту от грома и молнии позволено». Отсюда следует, по словам Мунка, что между IV и V столетиями н. э. было уже известно влияние молнии на металлы, и существовали приспособления вроде франклиновского громоотвода. Редакция «Анналов» добавляет к этому со своей стороны, что египтяне, по-видимому, употребляли в качестве громоотводов у входов в свои храмы высокие шесты с обитыми медью верхушками. Но если громоотводы и существовали, то в основе их лежало, конечно, одно лишь наблюдение, что молния ударяет всего легче в высокие, острые предметы, так как древность и не подозревала электрической природы молнии, не будучи знакома с электрической искрой. Мы выше видели, что мысль о тождестве последней с молнией была высказана впервые Валлем и Грэм, да и то в виде предположения, так как тогда не была еще известна лейденская банка с ее сильным действием. Честь первого подобного определенного утверждения принадлежит *Винклеру*, который в брошюре 1646 г.: «Von der Stärke der elektrischen Kraft in gläsernen Gefässen» («Об электрической силе в стеклянных сосудах») указывал что *единственное различие между искрой лейденской банки и молнией заключается в силе электричества*.

Франклин с его практическим умом не мог удовольствоваться объяснением молнии как электрического разряда; ему нужно было не только это доказать, но также использовать это явление на благо человечества. *Уже в 1750 г. он предложил поставить на башне высокий железный шест, чтобы с его помощью извлекать электричество из облаков*. Однако прежде чем он сам привел этот план в исполнение, француз *д'Алибар* поставил в мае 1752 г. в окрестностях Парижа, в Марли, железный шест в 40 футов длиной и изолировал его снизу. Караульным к шесту был приставлен столяр *Куафье*, который вечером 10 мая 1752 г., услышав сильный удар грома, в присутствии многих лиц, как священник из Марли и др., извлек из него в банку ряд ярких искр. Вскоре затем этот опыт был повторен с тем же успехом *Делором*, поставившим на своем доме в Париже шест в 99 футов длины. Позднее эти опыты были многократно повторены — некоторые в присутствии короля — теми же лицами, а также Бюффоном, Мазеасом и Лемонье.

Лишь месяц спустя после этих опытов, произведенных французами, и, не зная, конечно, о них, Франклин приступил к выполнению своего плана, но в более простой форме, так как он боялся огласки и насмешек в случае неудачи. В июне 1752 г. в поле, на котором стояла удобная хижина, он пустил на пеньковой бечевке змея, снабженного железным острием. К нижнему концу бечевки был привязан в качестве кондуктора ключ, а бечевку он держал не прямо в руке, а посредством привязанного к ней тонкого шнура. При первой же грозе, когда дождь смочил бечевку, волокна ее распыжились, и ему удалось извлечь из ключа пальцем несколько искр. Застраховав себя таким образом от неудачи, он установил на крыше собственного дома изолированный железный

ТЕОРИЯ ГРОМООТВОДА 295

шест и для удобства наблюдения направил электричество через этот провод и даже поместил внизу провода электрический звонок, чтобы электричество заявляло само о своем присутствии. С этим приспособлением он стал непрерывно следить за атмосферным электричеством; о результатах его наблюдений мы скажем ниже.

Свою *теорию громоотвода* Франклин изложил подробно в письме от 17 сентября 1753 г. Он указывает, что *молния перестает действовать разрушительно, когда ее достаточно отводят*; для такой цели он считает достаточными уже железные прутья в $\frac{1}{4}$ дюйма в диаметре. Чтобы предотвратить взрывчатый разряд через громоотвод, он предлагает заострять верхний конец шеста, так как он уже раньше заметил, что с *металлического острия электричество стекает постепенно, без внезапных разрядов*. Острие громоотвода имеет, следовательно, целью извлекать электричество из облаков не сразу, а постепенно. Громоотводы распространились в Америке с чрезвычайной быстротой. В Европе первый громоотвод был устроен в 1754 г. священником *Прокопом Дивишем*¹, около Цнайма в Моравии. В Англии Уатсон устроил громоотвод в 1762 г. В Гамбурге на башне Иакова поставили громоотвод в 1769 г. Несмотря на это *согласия по вопросу о наилучшем устройстве громоотвода не было*. Очень заслуженный в области электричества Бенджамин Уильсон (1708—1788 гг., член Королевского общества) считал крайне опасным направлять на здания такую страшную силу, как молния, посредством острых шестов и предлагал снабжать конец проводника вплотную над самой крышей шарами, которые сделали бы молнию безвредной, не притягивая ее в то же время к себе. Много писали за и против этого предложения, производили даже опыты, но к положительному решению не пришли. В конце концов, большинство, однако, склонилось на сторону воззрений Франклина, и Королевское общество отказалось принимать дальнейшие доклады своего сочлена Уильсона против остроконечных громоотводов.

С чисто теоретической точки зрения *атмосферным электричеством* занимались многие исследователи. Франклин сначала нашел, что облака во время грозы наэлектризовываются большею частью отрицательно, но вскоре стал находить в них и противоположные заряды. Кантон наблюдал, что электричество облаков во время грозы часто меняет свой знак, даже пять-шесть раз в течение получаса. Лемонье сделал важное открытие, что *воздух и при отсутствии грозы содержит электричество*. В Италии этим вопросом занимался с большим успехом *Джиованни Баттиста Беккариа* (1716—1781 гг., профессор физики в Турине).

¹ В венской газете «Neue Freie Presse» сообщают, что в библиотеке Венской электрической выставки (1883) хранятся рукописные документы, из которых видно, что священник Прокоп Дивиш в Прендице около Цнайма устроил 15 июня 1754 г. громоотвод в 22 клафтера вышины и изобрел этот прибор независимо от Франклина. Так как Франклин изложил свою мысль о разряде молнии уже в 1750 г., а в 1753 г. дал теорию громоотвода, то доказать полную независимость Дивиша от Франклина кажется нам делом очень трудным.

Впрочем, в 1756 г. Дивиш принужден был снять свой громоотвод, так как его прихожане приписали необычайную сухость лета в этом году громоотводу священника.

296 АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. ГИБЕЛЬ РИХМАНА

В его многочисленных сочинениях (с 1753 по 1773 гг.) изложена, между прочим, даже *теория грозы*. Согласно этой теории на земле в некоторых местах скопляется избыток электричества, отсюда он переходит в облака, переносится ими в места, где электричества мало, и разряжается здесь в землю грозой. Теория эта проста и понятна, но не объясняла главного — отчего в отдельных местах на земле появляется избыток электричества.

Дальнейшему быстрому распространению исследований по атмосферному электричеству сильно помешал несчастный случай с наблюдателем, показавший опасность подобных наблюдений. *Нолле* еще в 1753 г. рекомендовал большую осторожность при подобных опытах. 7 июня того же года *де-Рома* два раза был принужден просить публику отойти подальше от змея в 18 кв. футов поверхности, поднявшегося на высоту 550 футов, так как электрическое действие его было очень сильное. Он сам, вероятно, не пострадал только благодаря тому обстоятельству, что от внезапной перемены ветра змей упал на землю. Говорят, что *Лемонье* и *Бертье* были сшиблены с ног молнией, которую они извлекли из облаков. Но наибольшее несчастье случилось вскоре после упомянутых опытов *де-Рома*. *Георг-Вильгельм Рихман* (1711—1753 г. с 1745 г. профессор естественной истории в Петербурге) установил на крыше своего дома железный шест и, отведя от него внутрь дома проволоку, кончавшуюся в стеклянном сосуде с медными стружками, прикрепил к проволоке нить с тем, чтобы по ее отклонению, измеряемому с помощью квадранта, определять напряжение атмосферного электричества. 6 августа 1753 г., желая наблюдать во время грозы действие своего показателя, он приблизился к нему и на расстоянии фута был поражен насмерть огненным шаром, вылетевшим из металла. Стоявший поблизости помощник его, гравер Соколов, был только оглушен разрядом. Этот печальный случай, указавший на необходимость крайней осторожности, принес свою долю пользы тем, что побудил устраивать заземление громоотвода более тщательно и время от времени проверять ее надежность.

Рихман пользовался еще для измерительных целей отклонением *одной* лишь нити, *Нолле* уже более целесообразно пользовался для этого *двумя нитями*, а *Кантон* прибавил к ним бумажные шарики и устроил таким образом около 1753 г. применяемый и до сих пор *электроскоп*. Вообще *Джон Кантон* (1718—1772) имеет большие заслуги в области физики вообще и учения об электричестве в частности. Он до конца жизни стоял во главе частного учебного заведения в Лондоне и был настолько предан интересам науки, особенно опытной физики, что справедливо считается одним из передовых деятелей в области последней. Заслуги его были оценены Королевским обществом, сделавшим его своим сочленом и наградившим Кантона уже в 1751 г. золотой медалью за его способ намагничивания стали исключительно земным магнетизмом. С 1752 г. он стал заниматься электричеством, и уже в конце следующего года впервые показал, что оба рода электричества вовсе не связаны с природой тел, как до тех пор думали, что *из многих тел, смотря по свойствам их поверхностей и свойствам тлеющего вещества можно извлекать тот или другой род электричества*; что даже стекло

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С ПЛОСКИМ ДИСКОМ 297

электризуется не всегда положительно; так, от натирания фланелью полированные стекла оказываются наэлектризованными отрицательно. Позднее он *усовершенствовал подушку в электрической машине*. Опыты над свечением барометров привели его к электризации стекла посредством ртути, а позднее (в 1762 г.) побудили накладывать *на трущую подушку в его цилиндрической машине, состоящую из намащенной шелковой ткани, смесь оловянной амальгамы с небольшим количеством мела*. По окончании этих работ он обратился к другим отделам физики. В 1762 г. Кантон получил вторую золотую медаль за *доказательство сжимаемости воды*. В 1786 г. он открыл новое *флуоресцирующее вещество*, так называемый *кантонский фосфор*, добытый из смеси устричных раковин с серой, а в 1769 г. представил в Королевское общество работу о *свечении моря*, в которой он это явление объяснил гниением в морской воде содержащегося в ней слизистого органического вещества.

В заключение остается упомянуть еще об изобретении электрических машин с плоскими дисками. Вначале они, по-видимому, мало обратили на себя внимания, потому что за период времени с 1755 по 1766 г. объявилось не менее четырех изобретателей такой машины, в правах которых разобраться довольно трудно. Пожалуй, наибольшие права на первенство имеет *Мартин Планта* (1717—1782 г., директор семинарии в Гальденштейне), который уже в 1755 г. употреблял дисковую машину при своих опытах. Парижский врач, *Сико де-ла-Фон* (1740—1810) уверяет, что он устроит подобную машину в 1756 г., но признается, что оставил эту мысль, когда первый диск у него треснул. Доктор *Джен Ингенгоуз* (1730—1799 г., практический врач, член Королевского общества) изобрел по его словам эту машину в 1764 г., ввел ее в употребление и показывал ее Франклину в бытность последнего в Англии.

Однако в общее употребление машины с плоскими дисками были введены лишь в 1766 г. механиком *Джессе Рамсденом* (1735—1800 г., зять Доллонда), который в свою очередь также считает себя изобретателем этого вида электрической машины.

Ньютон полагал, что дисперсия света во всех средах находится в прямом отношении к преломлению, поэтому он считал невозможным устранение дисперсии без уничтожения преломления. Это свое убеждение он вывел из следующего опытного факта: если световые лучи проходят через две соприкасающиеся среды разной плотности с параллельными или непараллельными поверхностями преломления, например через воду и стекло, и если преломления в этих средах взаимно уравниваются так, что падающие и выходящие лучи оказываются параллельными друг другу, то выходящий свет всегда белый. Эйлер в своем трактате «*Sur la perfection der verres objectifs des lunettes*» («*Mem. d. Berl. Ak.*» 1747) хотя и не оспаривает опыты Ньютона, но замечает, что *по крайней мере глаз наш представляет собой оптический прибор, который хотя и сводит падающие на него лучи в изображения, но цветорассеяния не дает*. Такое свойство глаза он объясняет тем, что он состоит из многих преломляющих сред, и предлагает устраивать ахроматические стекла для труб и микроскопов сочетанием двух

298 ИЗОБРЕТЕНИЕ АХРОМАТИЧЕСКОЙ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

стеклянных чечевиц со слоем воды между ними. *ДЖОН ДОЛЛОНД*¹ горячо ухватился за идею Эйлера, но, продолжая держаться основного опыта Ньютона, пришел к выводу, что ахроматизм может получиться лишь при бесконечно большой ширине чечевицы. Эйлер защищал свое воззрение в трактатах в 1752 и 1753 гг. и получил, наконец, поддержку со стороны упсальского профессора математики *Самуила Клингенштьерна* (1698—1765). Последний в статье, напечатанной в 1754 г. в «Kongl. Swenska vetenkaps academiens handlingar» и посланной им также Доллону, утверждал, что опыт Ньютона не совсем точен, так как при его условиях *выходящий свет никогда не бывает вполне белый, а всегда несколько окрашен*. Тогда Доллонд повторил опыт Ньютона и убедился в правильности утверждения Клингенштьерна. Придя к выводу, что лучи, ставшие после преломления в воде и стекле параллельными, действительно остаются окрашенными, он попытался получить обратное, т. е. уничтожить окрашенность, сохранив преломление. Однако многочисленные опыты показали ему, что сочетание воды и стекла для этой цели неудобно, так как разница в их дисперсии недостаточно велика. Из всех известных в Англии сортов стекла наиболее подходящими для ахроматических чечевиц, благодаря значительной разнице в дисперсии, оказались кронглас и флинтглас. *В 1757 г. ему удалось устроить первую ахроматическую зрительную трубу, а в 1758 г. он усовершенствовал ее, составив ахроматическую чечевицу не из двух, а из трех стекол*². Эйлер отнесся вначале недоверчиво к открытию, сделанному не по его плану, полагая, что большая ясность изображений в доллондовой трубе происходит не от ахроматизма, а от уменьшения сферической аберрации, но вскоре убедился в полном успехе Доллонда. Доллонд опубликовал свое открытие без указания точных размеров; поэтому другим оптикам подражание его приборам не удавалось, и приготовление ахроматических зрительных труб долгое время оставалось монополией семьи Доллонов. Самые выдающиеся ученые пытались теоретически вывести правило приготовления таких стекол, но это долго им не удавалось. Сами Доллоны признавались, что подходящие размеры стекол были ими найдены в результате тщательных проб и что различия в качестве отдельных сортов стекла делали невозможным строгое применение теории. Клеро занимался этим вопросом во многих трактатах, начиная с 1761 г.; д'Аламбер — тоже, Эйлер работал над ним в течение 1769—1771 гг., вплоть до выхода в свет его «Оптики»; наконец, той же задачей продолжал заниматься и Клингенштьерн, получивший в 1762 г. за одну из этих работ премию Петербургской академии. В заключение следует еще упомянуть, что *Давид Грегори* уже к 1695 г. в своей «Catoptricae et dioptricae sphaericae elementa» говорит по поводу зрительной трубы: «Было бы, вероятно, полезно составлять

¹ 1706—1761 г., был сначала ткачом шелковых тканей. В 1752 г. основал вместе со своим сыном Петром, находившимся в учении у оптика, мастерскую оптических инструментов.

² Две ахроматические зрительные трубы Доллонда 1758 г. находятся в Королевском физико-математическом зале в Дрездене (Gerland, Leopoldina. XVIII, 1882).

МИКРОСКОПЫ. СОЛНЕЧНЫЙ МИКРОСКОП 299

объектив зрительной трубы из различных сред, как это устроено в глазу природой, которая ничего не делает зря». Далее, у *Рудольфа Вольфа* («Gesch. d. Astron.», стр. 585—586) имеется указание, будто эссекскому эсквайру из Мор-Голла Честеру уже в 1733 г. удалось устроить маленькую ахроматическую трубу. По поводу последнего случая *Лаланд* утверждает, что некто *Честерморголл* имел уже в 1750 г. план устройства ахроматической зрительной трубы и поручил выполнение его другим лицам, что *Доллонд* узнал об этом через третьи руки и выполнил этот план. Все это, по словам *Лаланда*, было доказано во время процесса, который *Доллонд* все-таки выиграл на том основании, что он первый устроил и ввел в употребление ахроматическую зрительную трубу¹.

Новое изобретение попытались скоро применить и к устройству микроскопа, но здесь дело оказалось гораздо труднее. Хорошие сложные микроскопы впервые стали готовить *Эвастахио Дивини* и *Гук*; в общих чертах устройство их сохранилось и доныне. После того как *Ньютон* устроил *зеркальный телескоп*, пытались устроить и *зеркальный микроскоп*, но когда это не удалось, остались на долгое время при простом микроскопе, и только открытие ахроматизма подвинуло это дело. Эйлер посвятил микроскопу значительную часть третьей книги своей «Диоптрики» (Петербург, 1769—1771), и по его указаниям *Фусс* готовил хорошие приборы. Около 1770 г. был известен своими микроскопами и *Дельбарр* в Гааге его инструменты рекомендовались *Монтюкла* (*Лаланд*). *Солнечные микроскопы*, по утверждению *Кестнера*, были уже в 1679 г. известны кильскому профессору *Самуилу Рейеру*. Большую известность они приобрели благодаря д-ру *Либеркюна*, который привез с собой солнечный микроскоп в 1739 г. в Англию и представил его Королевскому обществу. Большие *зеркальные телескопы* готовил сначала *Джон Гадлей*; в 1723 г. он представил Королевскому обществу экземпляр в 6 футов длиной, устроенный по идее *Ньютона*, но позднее он вернулся к инструментам типа *Грегори*. *Зеркальный секстант* был описан *Гадлеем* в 1731 г.; но подобный же инструмент был устроен *Томасом Годфри* еще ранее 1730 г., а теория этого инструмента была дана *Ньютоном* в 1699 г. Возможно, что *Гадлей* знал об изобретении *Годфри*, но *ньютоновское* описание было найдено лишь в 1742 г.

Этому же периоду обязана своим возникновением новая отрасль оптики — *ФОТОМЕТРИЯ*. Основателями ее были *БУГЕ* и *ЛАМБЕРТ*. Пьер Буге родился 16 февраля 1698 г. в Бретани; воспитывался он в Ваннской иезуитской школе и уже здесь проявил большие способности к математике. В 1729 г. появилась его работа «Essai d'Optique sur la gradation de la Lumiere», в которой уже были развиты основы его фотометрии. Сочинение это вызвало большой интерес, а так как Парижская академия уже ранее обратила внимание на некоторые другие работы Буге, то в 1731 г. она избрала его в свои члены. С 1735 по 1743 г. он участвовал в работах градусоизмерительной комиссии *Кондамина* в Перу. По возвращении оттуда он занялся дальнейшей

¹ *Montucla*, Histoire, III, стр. 448—449.

300 ФОТОМЕТРИЯ. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА

разработкой своих прежних оптических исследований, пользуясь при этом наблюдениями, сделанными им в Перу; но последствия пребывания в жарких странах, а может быть, отчасти, враждебные столкновения с Кондамином свели его 15 августа 1758 г. в могилу. Оставшийся после него основной труд по оптике был издан его другом *Лакайлем* под заглавием: «Traite d'Optique sur la gradation de la lumière» (Париж, 1760)

Буге изобрел несколько приборов для сравнения и измерения силы света, идущего из различных источников, но все они основаны на одном и том же принципе, чтобы освещение предмета сравниваемыми источниками было одинаково. Из расстояний последних или из других моментов, с помощью которых получалось равенство освещения, и определяется сравнительная сила света. Чтобы точно определять равенство освещения, Буге обыкновенно направлял свет от сравниваемых источников на два рядом стоящих прозрачных или непрозрачных экрана. Значит, по идее его приборы приближались к известному фотометру Риччи. При помощи подобных фотометров Буге нашел, что *при отражении от металлического зеркала свет ослабляется сильнее чем при отражении от стеклянного; что поглощение света зависит от угла отражения, а именно, что при наименьшем угле отражения и поглощение всего меньше. Наименьшее поглощение из всех зеркально отражающих тел вообще наблюдается у ртути. Наибольшие различия поглощения при различных углах падения дает вода.* Так, на 1000 падающих лучей вода при угле наклона луча в $2\frac{1}{2}^\circ$ отражала 614 лучей, а при наклоне в 90° — всего 18, тогда как соответствующие величины для зеркального стекла (без металлической подкладки) были 584 и 25.

При прохождении света через стеклянные пластинки и слои морской воды поглощение по мере увеличения толщины слоев растет в геометрической прогрессии. При прохождении света через атмосферу поглощение зависит от высоты светила. Если, например, принять силу света какой-нибудь звезды при вступлении в нашу атмосферу равной 10 000, то величина эта после прохождения через атмосферу при высоте звезды в 90° , составляет 8123, при высоте в 10° составляет 3149, а при 5° — только 1201. Буге определял также *различную яркость небесного свода на различных расстояниях от солнца*, и — что всего важнее — *ему удалось сравнить силу света Луны и Солнца.* Он нашел, что *Солнце в среднем в 300 000 раз светлее полной Луны* при равной высоте над горизонтом. Этим он и объяснил, почему при собирании лучей лунного света чечевицей не получается заметного тепла. При этом оказалось, что интенсивность солнечного света не по всему солнечному диску одинакова; посередине она больше, чем по краям; на диске луны имело место как раз обратное отношение.

Преемник Буге на трудном поприще фотометрии, *Иоганн Генрих Ламберт*, сын бедного эльзасского портного из Мюльгаузена, родился в 1728 г. Благодаря прекрасному почерку он в 15 лет получил место писаря, затем сделался секретарем базельского профессора Изелина, на конец — домашним учителем у президента Салиса в Хуре. Здесь он имел достаточно времени и возможности закончить свое научное образование. В 1759 г. появилось его первое сочинение: «Freie Perspective»; за ним в 1760 г. последовал его главный труд «Photometria sive de men-

suram et gradibus luminis, colorum et umbrae», напечатанный в Аугсбурге, а за этим в 1761 г. — две брошюры: «Ueber Kometenbahnen» и «Kosmologische Briefe über die Einrichtung der Weltbaues».

В 1764 г. его пригласил в Берлин Фридрих Великий и назначил членом академии и главным инспектором строительных работ (Oberbaurath). 25 сентября 1777 г., подготавливая к печати новое сочинение «Pyrometrie oder von Maass des Feuers und Wärme», он умер в Берлине. Сочинение это вышло после его смерти в 1770 г.

В своей *фотометрии* Ламберт идет еще более основательным путем, чем Буге. *Прежде всего, он старается установить общие принципы измерения света, исходя из них он определяет силу света в отдельных случаях с тем, чтобы найденные величины сравнить с действительными наблюдениями.* Он сначала различает абсолютную яркость светящегося предмета, освещенность или яркость освещенного предмета и, наконец, видимую или ощущаемую нашим глазом яркость. Соответственно этому он устанавливает следующие основные положения для фотометрии 1) *Видимая яркость предмета есть частное от деления количества света на величину изображения на сетчатке.* 2) *При прочих равных условиях, освещение, получаемое небольшим предметом от светящейся точки, обратно пропорционально квадрату его расстояния от этой точки.* 3) *Если освещенная поверхность наклонена по отношению к излучающему свету телу, то сила этого косо освещенная пропорциональна произведению нормального освещения на синус угла наклона лучей к освещенной поверхности.* 4) *Если обозначить через S угол истечения для светящегося элемента поверхности F и через J — блеск последнего, то количество исходящего от него света пропорционально выражению: $F \cdot J \cdot \sin S$ ¹.*

Из этих общих положений Ламберт выводит математическим путем много законов, касающихся освещения тел в различных условиях. Затем, подобно Буге, он занимается определением количества света, отражающегося от зеркального стекла и проходящего через него, и т. п. Относительно яркости звезд при разных высотах он дает гораздо меньшие числа, чем Буге. Если силу света вне нашей атмосферы принять равной 1,0000, то после прохождения через атмосферу при высоте звезды в 90° она равна 0,5889, при 10° равна 0,0476 и т. д. *Отношение яркости солнца и полной луны, по его наблюдениям, равно 277 000, т. е. приблизительно то же, что у Буге; однако этим числам он и сам не придает большого значения*². *Яркость луны в различных фазах он, наоборот, вычисляет с большой точностью и дает также сравнительную яркость планет.* Последнюю часть его труда составляют *расчеты и опыты, касающиеся силы окрашенного света и теней. Для сравнения света пламен Ламберт пользуется интенсивностью теней, отбрасываемых тонкой палочкой, освещенной сравниваемыми источниками света, на большую поверхность.* Следовательно, собственно ему при-

¹ Угол истечения есть угол, образуемый световым лучом с поверхностью светящегося тела; блеск есть абсолютная яркость единицы поверхности.

² Из позднейших физиков для сравнительной силы света солнца и луны дают: Волластон (1709) 801072; Бонд (1860) 470 080; Целльнер (1865) 618 000 или 619 000.

302 ФОТОМЕТР. ПИРОМЕТР

надлежит принцип *фотометра*, приписываемый в последнем его виде *Румфорду*. Расхождение чисел у Буге и Ламберта и неточность их сравнительно с позднейшими результатами не представляет ничего удивительного, так как именно в деле определения силы света глаз наш оказывается подчиненным множеству субъективных условий. *Во всяком случае следует признать, что Буге первый начал научно-экспериментальную работу по измерению света, а Ламберт дал этому вопросу теоретические основания, сохраняющие свое значение до настоящего времени.*

В своей *пирометрии* Ламберт занимается вообще *измерением тепла*; следовательно, здесь речь идет не об измерениях одних только высоких температур, как это понимают теперь под пирометрией. Впрочем, и он отличает пирометры от термометров как приборы для измерения более высоких температур, выходящих за пределы выносливости наших органов чувств. Собственно *первый пирометр*, вроде употребляемых ныне металлических, был *устроен в 1731 г. Мушенбреком* и описан им в усовершенствованном виде в его «*Introductio ad philosophiam naturalem*» (т. II, стр. 610). Он состоял из металлического стержня, укрепленного одним концом неподвижно, а другим приводящего (при тепловом расширении) в движение показатель. Впрочем, этим прибором Мушеибрек имел в виду не столько измерять температуры, сколько определять расширение металлов и других твердых тел, как кусочки стекла и т. п. *Пирометрия в ее теперешнем смысле начинается лишь со времени Джосии Веджвуда (1730—1795 г., горшечник, изобретатель фаянса), который описал в «Philos. Transact.» в 1782 г. свой знаменитый глиняный пирометр, вызвавший массу проверочных наблюдений, но оказавшийся, к сожалению, недостаточно надежным.*

Теорию *электрического влияния*, или электрической *индукции*, хотя и не под этим названием, основывают двое немецких ученых ЭПИНУС и ВИЛЬКЕ. Кантон («*On some new electrical experiments*», «*Phil. Trans.*», 1754) при посредстве своего электрометра с пробковыми шариками точно исследовал несколько удивительных явлений электричества, до того мало обращавших на себя внимания. Именно, он заметил, что *пробковые шарики начинают расходиться уже при одном приближении к наэлектризованному телу, прежде чем к нему прикоснуться и до того как на них перескочит электричество; с удалением же от наэлектризованного тела они снова спадаются*. Разнообразя эти опыты на много ладов, он пытался объяснить это явление с точки зрения существовавшей тогда теории. Последняя все еще находилась более или менее бессознательно под влиянием картезианских воззрений, придерживая идеи истечения из тел электрической материи (что хорошо согласовывалось и с гипотезой Франклина). Согласно этой теории выходило, что наэлектризованное тело, смотря по степени его электризации, окружено более или менее обширной электрической атмосферой. Этой-то атмосферой и объяснялись те явления, которые наблюдал Кантон. Если два бузинных шарика, приближенные к наэлектризованному телу, взаимно отталкиваются, это еще не значит, что они наэлектризовались, — они отталкиваются потому, что попали в атмосферу на-

ВИЛЬКЕ. ЭПИНУС. СФЕРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 303

электризованного тела; по этой же причине вслед за удалением из атмосферы они спадаются, не проявляя никаких признаков электричества. Однако названные выше физики Вильке и Эпинус в скором времени открыли ряд явлений, сделавших изложенные объяснения недостаточными.

Иоганн Каря Вильке, сын священника в Висмаре, родился 6 сентября 1732 г. Учился он в Гёттингене и Ростоке, затем жил некоторое время в Берлине, где производил опыты «месте с Эпинусом. Переехав отсюда в Стокгольм, он читал там лекции по физике, сделался вскоре членом шведской академии наук и умер в Стокгольме 18 апреля 1796 г. Уже в своей диссертации «*De electricitatibus contrariis*» (Росток, 1757) он привел исследования Кантона в теоретический порядок и прибавил к ним следующее принципиально важное наблюдение. *Если к телу, находящемуся в электрической атмосфере другого, прикоснуться проводником и затем вывести из этой атмосферы, то в нем оказывается присутствие некоторого количества электричества и притом противоположного знака.* Таким образом предстояло разрешить загадку, действительно ли тело остается индифферентным, находясь в электрической атмосфере другого, или же оно наэлектризовывается противоположным электричеством.

Франц Ульрих Теодор Эпинус, тоже сын пастора, родился 13 декабря 1724 г. в Ростоке, был сначала приват-доцентом в родном городе, потом профессором в Берлине и, наконец, академиком в Петербурге. Умер он в Дерпте в 1802 г. Его главное сочинение «*Tentamen theoriae electricitatis et magnetismi*» (Петербург 1759) составило некоторым образом эпоху в учении об электричестве и магнетизме. *Он устранил из учения об электричестве картезианские представления об истечениях и ввел вместо них ньютоновские воззрения на непосредственное действие силы на расстояние — actio in distans.* Наэлектризованное тело не имеет вокруг себя никакой атмосферы, кроме прилежащего воздуха, которому оно отдает несколько электричества; но всякое наэлектризованное тело действует до определенного расстояния отталкивающим образом на электричество окружающих тел. Соответственно этому Эпинус заменил выражение «электрическая атмосфера» более нейтральным термином «сфера электрического действия» и очень остроумно объяснил новые интересные явления как результат действия на расстоянии. *Если к положительно наэлектризованному телу приблизить другое, то первое отталкивает из второго электрическую жидкость, содержащуюся нормально во всяком ненаэлектризованном теле; и если теперь прикосновением ко второму телу отнять его электричество, то по отдалении его от первого в этом теле оказывается недостаток электричества, т. е. оно становится отрицательно наэлектризованным.* Из этого объяснения видно, что в то время Эпинус пользовался еще теорией Франклина; да и вообще он вместе с Вильке много способствовал ее развитию. Легко, однако, видеть, что это объяснение содержало в себе уже задатки несостоятельности принятой теории. Эпинус считает естественным, что электрическая материя, отталкивая сама себя, притягивает другие вещества; так как, однако, и отрицательно наэлектризованные тела, т. е. тела с недостатком электричества, взаимно отталкиваются, то, следуя Эпи-

304 ДУАЛИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА СИММЕРА

нису, *нужно было бы приписать отталкивательную способность и обыкновенной материи*, что, однако, трудно согласовать с ньютоновской теорией притяжения. Эпинус хотя и боялся такого вывода, но, не находя лучшего объяснения, все-таки остался при нем и соответственно построил и теорию магнетизма. *И магнитные явления являются результатами действия особой жидкости, которая способна перемещаться и теле и в результате взаимного отталкивания своих частей собираться в одной точке тела, так что в этом случае один полюс имеет избыток, а другой — недостаток магнитной жидкости.*

Необходимость допущения отталкивательной способности обыкновенной материи, наряду с противоположными требованиями ньютоновского воззрения, была той слабой стороной теории, которая облегчила победу *дуалистической теории электричества англичанина Роберта Симмера*. О последнем с биографической стороны известно только, что *он* был с 1753 г. членом Королевского общества и умер 10 июня 1763 г. Свои электрические работы он изложил в «Phil. Trans.» за 1750 г. под заглавием: «New experiments and observation concerning electricity: 1) of the electricity human body, and the animal substances, silk and wool; 2) of the electricity of black and white silk; 3) of electrical cohesion; 4) of two distinct powers in electricity». Путь, которым он в 1759 г. пришел к своим открытиям, очень любопытен. Симмер носил на ногах две пары шелковых чулок, черную и белую, одну поверх другой. Снимая их поодиночке, он заметил, что чулки оказывались сильно наэлектризованными, причем чулки одного и того же цвета взаимно отталкивались, но белый и черный взаимно притягивались. Это навело его на мысль *допустить существование во всех ненаэлектризованных телах противоположных электричеств, которые настолько нейтрализуют или связывают друг друга, что ни одно из них не может обнаружиться*. Наэлектризованным тело становится, значит, тогда, когда в нем имеется только один вид электричества или, по крайней мере, избыток одного вида над другим.

Если еще вдобавок принять, что свободные однородные виды электричества отталкиваются, а разнородные притягиваются, то законы электрического притяжения и отталкивания станут понятны, как и в, теории Франклина, без необходимости прибегать к отталкивательной силе между частицами материи. В пользу своей теории Симмер приводит, между прочим, тот факт, что когда электрическая искра пробивает бумагу, края отверстия оказываются загнутыми в обе стороны. *Вначале между учеными держалось мнение, что обе теории одинаково хорошо объясняют явления, и преимуществу отдавалось даже старой, т. е. теории единой электрической жидкости. Но вскоре стала одерживать верх дуалистическое воззрение и, как более удобное, оно достигло, наконец, исключительного господства*. В сущности, впрочем, теория Симмера была не новее, а старее теории Франклина, так как ее излагал уже раньше Дюфэ, чего Симмер, по-видимому, не знал. В 1762-1763 гг. Вильке занимался изучением *медленных электрических разрядов через острия*, которые Франклин объяснял для случая положительного заряжения усиленным отталкиванием частиц электрической жидкости. *Установив существование электрического ветра с острия, и*

ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТЕКАЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА 305

в том случае, когда последнее наэлектризовано отрицательно, Вильке пришел к мысли, что это явление свидетельствует не о недостатке электричества, а о существовании особой отрицательной электрической жидкости. По тем же самым основаниям *Торберн Олоф Бергманн* (1735—1784 г.), профессор физики и химии в Упсале, ученик Линнея, превосходный химик и минералог) отказался от франклиновской теории в пользу старого воззрения Дюфэ или новой теории Симмера.

Одновременно с Вильке исследованием разрядов с острия занимались Уильсон, Уатсон, Чарльз Кэвендиш и Франклин, причем они обратили особое внимание на *свечение истекающего электричества*. Уатсон заметил, что *в пустоте электричество переходит на гораздо большие, чем обычно, расстояния, распространяясь от одного тела до другого, подобно северному сиянию, пучками блестящих лучей*. Он нашел, таким образом, что торичеллиева пустота проводит электричество лучше воздуха. В своей статье «*De electricitatibus contrariis*» Вильке изложил свои опыты по свечению электричества при медленных истечениях и указал, что свет истекает в виде конуса, обращенного своим основанием к положительно наэлектризованному телу, а вершиной к отрицательному, подобно тому как Франклин это принял для своей теории. Но позднее он сообщил результаты своих опытов¹, при которых он усиливал электрическое свечение тем, что покрывал острия фосфоресцирующими веществами, и которые противоречили прежним воззрениям. Эти-то наблюдения и побудили его примкнуть к симмеровской теории. *Намазав фосфором острие и сообщив ему электричество, он наблюдал сначала исчезновение фосфорного света, окружавшего все острие, затем появились светлые лучи, распространявшиеся по воздуху почти на фут расстояния, — лучи, которые одинаково наэлектризованными телами отталкивались, а противоположно наэлектризованными притягивались*. На основании множества опытов с одним и двумя остриями» одинаково и противоположно наэлектризованными, он пришел к общему выводу, что со всякого острия истекает электрический ветер, уносящий с собой фосфорные лучи; *эти ветры действуют друг на друга механически, но сохраняют при этом, наподобие наэлектризованных тел, свойства взаимного притяжения и отталкивания*.

Тот же Вильке — однако, не он первый и не он один — исследовал *новый источник электричества*. В брошюре «*Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten von einem Liebhaber der immer gern speculirt*» (Хемниц и Лейпциг, 1707) сообщается, что голландцы привезли в 1703 г. с Цейлона камень, называемый *турмалином* или турмалем, который, будучи нагрет, притягивает к себе и отталкивает частички золы, отчего его называют также зольным камнем. Около 1717 г. *Лемери* показывал этот камень Парижской академии, и так как его притягательная сила считалась магнитной, камень получил название *цейлонского магнита*. *Линней* первый стал подозревать в нем электрические свойства и назвал его *lapis electricus*; в 1757 г. Эпинус рядом опытов, проведенных им в Берлине совместно с Вильке,

¹ Electriska försök med phosphorus (Svenska v-tenskaps Academiens Handlingar. 1763).

306 НОВАЯ АТОМИСТИКА

показал, что этот камень при нагревании приобретает электрические свойства. Эти исследователи нашли, что от нагревания противоположных сторон турмалина получаются разноименные электричества; пока эти стороны одинаково нагреты, камень остается в нормальном ненаэлектризованном состоянии, но лишь только одна сторона нагрета сильнее другой, минерал становится наэлектризованным. Эпинус изложил эти опыты в мемуарах Берлинской академии за 1756 г., а Вильке — в своей диссертации «De electricitatibus contrariis». Позднее Эпинус опубликовал собрание работ о турмалине в «Recueil des differents memoires sur le tourmaline» (Петербург, 1762); а затем этот вопрос разрабатывался Уильсоном, Кантоном, Бергманном, Пристлеем и Вильке, но без особо выдающихся результатов.

Когда вслед за Ньютоном почти все физики признали всеобщее притяжение материи, действующее непосредственно на расстояние, то притягательными силами начали объяснять также и твердость тел, волосность, упругость и пр. Картезианские начала были отсюда устранены даже скорее, чем из области магнетизма и электричества. Впрочем, здесь приходилось признавать *существование различных сил; так, тяготение, действующее между светилами, строго отличали от сил междуатомных, действующих на незаметно малых расстояниях*. Развивавшаяся постепенно новейшая атомистика почти не встречала заметного сопротивления. *Принятие атомных сил уже не вызывало затруднений после того, как всеобщее тяготение одержало победу в умах; даже спор о существовании пустого пространства замолк за недостатком новых точек зрения, и только вопрос о делимости материи возбуждал еще сомнение, а неделимость атомов встречала решительных противников.*

Лейбниц с его монадологией с философской точки зрения подошел к атомистике очень близко, но его монады были слишком странными существами, чтобы физика могла их использовать. Эйлер в сочинении («Von den Elementen der Körper» 1746) выступает решительным противником Лейбница. В виде простых элементарных вещей монады существовать не могут, так как на основании опыта все тела делимы. Если же монады признать бесконечно малыми, то возникает противоречие: из конечного числа таких бесконечно малых величин тело состоять не может; с другой стороны, тело, состоящее из бесконечного числа частей, тоже немислимо. Некоторые другие физики тоже высказывали свои метафизические сомнения по поводу трудности теории атомов. Так, Нолле в своих «Lecons de physique» (Париж, 1743—1750) говорит, что хотя мысленно материя и бесконечно делима, но, с другой стороны, действительная делимость еще не является достоверной; в заключение он замечает, что *в силу ограниченности нашего познания этот вопрос вообще является неразрешимым,*

Боскович считает трудный вопрос о делимости атомов беспредметным и заодно *пытается свести все виды притяжения материи и ее частей на действие одной только силы.* Его труд представляет единственное натурфилософское сочинение за период времени от ньютоновских «Начал» до кантовских «Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft», 1786 г.

СИСТЕМА БОСКОВИЧА 307

РОЖЕР ИОЗЕФ БОСКОВИЧ родился 8 мая 1711 г. в Рагузе, был с 1740 г. профессором в римском Collegio romano, потом профессором в Павии, а в 1773 г. переселился в Париж. Отсюда из-за несогласия с д'Аламбером он переехал в Милан, где и умер 13 февраля 1787 г. Свою систему он изложил сначала в ряде небольших статей, а затем в полном виде в сочинении «*Phylosophiae naturalis Theoria, redacta ad legen virium in natura existentium*» (Вена, 1759). По его мнению, *материя состоит из точек, не имеющих протяжения*, распределенных в беспредельном пустом пространстве таким образом, что взаимные расстояния их хотя и могут быть бесконечно малы, но не равны нулю. Точки не являются только местами в пространстве, это не математические, а физические точки, обладающие инерцией и определенной активной силой, благодаря которой они взаимно притягиваются или отталкиваются. *Эта активная сила во всей вселенной одна и та же, она изменяется лишь в зависимости от положения точек*. Именно, сила, действующая между каждыми двумя точками на самых малых расстояниях, *отталкивательная* и делается бесконечно большой, когда расстояние, уменьшаясь, приближается к нулю; оттого точки никогда не могут сблизиться до взаимного соприкосновения. С увеличением расстояний *отталкивательная сила* уменьшается до нуля, переходя затем в *притягательную силу*, которая вначале, с увеличением расстояния возрастает, а потом постепенно уменьшается до нуля, чтобы затем снова перейти в *отталкивательную силу*. Таких переходов уже *в пределах незаметных расстояний бывает несколько*. Но когда расстояния становятся *заметными*, эта сила переходит в известную форму *всеобщего тяготения*, которая следует известному закону обратной пропорциональности квадратам расстояний и превращается в нуль только на бесконечно больших расстояниях.

С помощью этой гипотетической силы и своих атомных точек Боскович дальше очень просто объясняет такие свойства материи, как *сцепление, упругость и тяжесть*. Между телами, находящимися на конечных расстояниях, атомные силы действуют исключительно как тяжесть; между частицами же тела на бесконечно малых расстояниях сила претерпевает описанные выше превращения. *Частицы твердых тел находятся на таких взаимных расстояниях, которые как раз соответствуют переходу силы из отталкивания в притяжение*. Если тело *растягивать*, т. е. отделять его частицы, то атомная сила проявляется в виде притяжения, стремящегося вернуть частицы в прежнее положение. Если же тело *сжимать*, то та же сила становится отталкивательной и опять-таки стремится восстановить прежнее состояние равновесия.

Для объяснения перечисленных общих свойств тел было бы достаточно одного перехода отталкивания в притяжение с одной только точкой равновесия; *прочие же переходы рассчитаны, по-видимому, преимущественно на объяснение ньютоновских приступов световых лучей*, равно как и самое строение физических точек приспособлено к тому, чтобы сделать наглядным прохождение сквозь тела световых частиц. Когда тела состоят из физических точек, то световая материя легко может проходить через них, если только ее момент движения достаточно велик для преодоления сил, в сферу действия которых попа-

308 ПРОТИВНИКИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛИ БОСКОВИЧА

дают световые частицы. Так, при большой скорости движения света последний может проходить через тела, не приводя их частичек в движение; при меньшей скорости он уже будет сообщать им заметное движение, хотя сам может еще и не быть остановлен; если же движение света еще более медленно, то световая материя, войдя в тело, может задержаться в нем полностью.

Если отвлечься от многочисленных переходов атомных сил и сохранить только начальную отталкивательную и конечную притягательную силы, то *система Босковича оказывается очень похожей на новейшую атомистику до того места, где она переходит и молекулярную теорию*. Поэтому Босковича часто называют прямым творцом атомистики, принимающей существование атомов, обладающих активными силами. Во всяком случае, он наиболее плодотворно привел в связь ньютоновские открытия с прежней атомистикой и наметил пути, по которым наука движется и в настоящее время. Тем не менее, заслуги Босковича не были по достоинству оценены особенно в Германии, где ее затемнила теория Канта, который в своих метафизических началах естествознания 30-ю годами позже Босковича присвоил материи две силы, отталкивательную и притягательную, действовавшие вместе как единая сила Босковича. В Англии и Франции система последнего встретила несколько большее сочувствие и признание, но тоже очень медленно и в ограниченном объеме. *Делюк* («*Idées sur la météorologie*») восстает против гипотезы Босковича на том основании, что сила без вещества, на которое она действует, есть лишь пустое выражение. Так же критически относится к ней и англичанин *Прайс. Пристлей* («*Hystory of optics*»), наоборот, признает себя открыто приверженцем теории Босковича и полагает, что при ее посредстве всего легче устраняются трудности теории истечения света. *Робайсон* излагает в своей «*System of mechanical philosophy*» (Эдинбург, 1882) теорию Босковича и утверждает, что она должна, во всяком случае, быть очень близкой к истинной теории. В теории Фарадея атомы, как и у Босковича, являются просто центрами сил. Наконец, *Фехнер* в своей работе «*Ueber die physikalische und philosophische Atomenlehre*» (Лейпциг, 1855, 2 изд., 1864) останавливается на теории Босковича и цитирует его работу.

Самым видным противником какого бы то ни было непосредственного действия на расстоянии и приверженцем всеобъемлющей теории эфира является *ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР*. Уже с половины 40-х годов XVIII столетия он выступает в своих оптических сочинениях против *теории истечения*, а в работах о строении материи против *actio in distans*. И те, и другие явления он пытается объяснить эфиром, наполняющим всю вселенную. Позднее он применил свою гипотезу эфира к выводу законов электричества и магнетизма и развил ее в общую теорию эфира. Воззрения Эйлера изложены им в его «*Lettres a une princesse d'Allemagne sur quelques sujets de physique et de philosophie*» (Петербург, 1767—1772, 3 ч.), представляющих очень любопытное популярное сочинение по физике, которое и теперь читается с интересом. Письма эти были датированы 1760 и 1761 гг., они появились в нескольких изданиях и были переведены на немецкий

ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ ТЕОРИИ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕТА 309

язык *Крисом* (Лейпциг, 1792—1794) снабдившим их многочисленными примечаниями, направленными преимущественно против отступления Эйлера от Ньютона. *Мы считаем полезным изложить более подробно теорию Эйлера, так как, независимо от ее достоинств, нам представляется крайне интересным ознакомить читателя с воззрениями гениального человека, стоявшими в резком противоречии с общепринятыми взглядами тогдашних физиков.*

Прежде всего, *Эйлер восстает против теории истечения света.* «Уже на первый взгляд это воззрение (т. е. теория истечения) должно представляться и смелым и странным, потому что, если солнце испускает непрерывно и во все стороны потоки светового вещества, и притом с такой громадной скоростью, то следовало бы ожидать, что оно должно скоро истощиться, или, по крайней мере, претерпеть заметные изменения в течение стольких столетий; наблюдения же показывают как раз обратное». «И напрасно стараются придать световому веществу наибольшую мыслимую тонкость; от этого ничего не выигрывается: система все-таки остается непостижимой. Нельзя сказать и того, что лучи истекают не из всех мест и не во все стороны; потому что, где бы ни поместиться, отовсюду видно все солнце. «К этому присоединяется еще другое, худшее обстоятельство, не менее важное по существу дела, заключающееся в том, что не одно солнце, но и все прочие звезды распространяют световые лучи, и последние по необходимости должны встречаться друг с другом. С какой силой должны были бы они сталкиваться? и настолько должно было бы изменяться их направление?». «Далее, если рассмотреть прозрачные тела, через которые солнечные лучи проходят без помехи, последователи этой системы вынуждены принять, что *поры таких тел идут по прямым линиям, и именно от любой точки поверхности во все стороны;* ведь нельзя себе представить линии, по которой не шел бы световой луч и не шел бы с непостижимой скоростью, не наталкиваясь на препятствия. До какой же степени такие тела при их видимой плотности должны бы были быть пронизаны отверстиями!» «Думаю, что эти трудности, взятые вместе, убедят Ваше высочество, что теория истечения не имеет под собой действительной почвы в природе; вместе с тем, Ваше высочество удивится, как могла подобная система быть придумана столь великим человеком и быть признана столькими просвещенными философами. Впрочем, уже Цицерон заметил, что нет такой странности, которую не взяли бы утверждать философы. Лично я слишком мало философ, чтобы присоединиться к этому мнению». Ньютон отвергал мысль, что вселенная заполнена эфиром, так как при этих условиях планеты, по его мнению, не могли бы двигаться столь беспрепятственно, как они двигаются на самом деле; но «Ваше высочество легко поймет, что пространство, в котором движутся эти тела, вместо того чтобы оставаться пустым, будет наполнено световыми лучами, которые, исходя не только из солнца, но из других светил, распространяются в нем непрерывно, со всех сторон и во все стороны и с величайшей скоростью. Следовательно, небесные тела будут двигаться уже не в пустоте, и будут встречать повсеместно вещество световых лучей, находясь в движении

310 ЭЙЛЁРОВСКАЯ ТЕОРИЯ ЭФИРА

с ужасающей скоростью, необходимо должно затруднять течение светил в большей степени, чем если бы оно было в полном покое. Поэтому *если Ньютон опасался, как бы движение планет не было нарушено присутствием столь тонкой материи, как та, которую принимал Декарт, то нужно признать, что сам он прибег к очень странному средству, противоречащему его собственным намерениям, так как при нем движение планет должно нарушаться еще значительно сильнее*».

*Эфир есть вещество, подобное воздуху, «но значительно более тонкое и упругое, чем обыкновенный воздух. Так как мы уже видели, что именно этим свойством воздух обязан своей способностью воспринимать сотрясения и колебания звучащих тел и передавать их во все стороны, как мы это видим на распространении звука, то естественно думать, что и эфир при подобных же условиях будет подобным же образом воспринимать колебания и распространять их на несравненно большие расстояния». Действие этих колебаний есть свет. При этом «солнце ничего не теряет из своего вещества, хотя и освещает своими лучами весь мир. Его свет производится определенным движением или сильным сотрясением собственных частичек, которое, будучи передано соседнему эфиру, распространяется во все стороны на громадные расстояния, совершенно так же, как колокол при ударе передает собственные сотрясения воздуху». Мы знаем, что «если бы плотность воздуха уменьшилась, скорость звука увеличилась бы, точно так же, если бы упругость воздуха стала больше, то скорость звука возросла бы». «Представим себе теперь, что плотность воздуха уменьшилась бы настолько, что она стала равной плотности эфира, а упругость, наоборот, повышаясь, достигла бы упругости эфира, тогда, конечно, никто бы не удивился, если бы скорость звука возросла в несколько тысяч раз против действительности». «Таким образом необычайная скорость света перестает быть парадоксом, а наоборот, согласуется с нашими основными положениями, а сходство света со звуком идет так далеко, что мы можем с уверенностью утверждать, что *если бы воздух был столь же тонок и упруг, как эфир, то скорость звука была бы совершенно та же, что и скорость световых лучей*». Темное тело освещается падающими на него лучами не оттого, что оно отбрасывает световое вещество, а вследствие того, что частицы на его поверхности приводятся волнами эфира в колебание, а последние в свою очередь сообщаются соседнему эфиру, все равно, как натянутые струны приводятся в колебания набегающими звуковыми волнами и начинают звучать сами. Эти положения приводят Эйлера, прежде всего, к *объяснению цветов при помощи теории колебания* — к объяснению, которого до того еще совершенно не существовало. «Наше незнание истинной природы цветов издавна вызывало много споров между философами. Каждый старался отличиться своим особым мнением по этому предмету». «*Всякий простой цвет (в отличие от смешанного) происходит от определенного числа колебаний, совершающихся в известное время; так, определенное число колебаний в секунду дает красный цвет, другое — желтый, третье — зеленый, опять иное — голубой, иное — фиолетовый; все эти цвета простые, какими мы видим их в радуге. Следует представлять себе, что малейшие частицы**

ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ. О ПРИЧИНЕ ТЯЖЕСТИ 311

на поверхности тела находятся, подобно струнам музыкального инструмента, в известном напряжении, зависящем от их массы и упругости; поэтому, когда их надлежащим образом касаются, они приходят в колебательное движение, более или менее частое, в зависимости от напряжения. *Если, значит, частицы тела имеют такое напряжение, что при сотрясении они дают такое число колебаний в секунду, которое соответствует, например, красному цвету, то такое тело я называю красным*. С таким же основанием можно называть красными и самые лучи, имеющие то же число колебаний; другими словами, если такие лучи падают на нерв глаза, то человек получает ощущение красного цвета. *Правда, мы еще не умеем определять число колебаний каждого цвета в отдельности и не знаем даже, каким цветам соответствует большее или меньшее число колебаний, какие цвета соответствуют более низким или высоким тонам*. Но достаточно знать и то, что всякий цвет имеет свое определенное число колебаний». «Чтобы осветить тело определенным цветом, необходимы лучи именно этого цвета, так как всякие другие лучи неспособны принести в движение частицы тела». «Лучи солнца, восковой или простой свечи освещают все тела одинаковым образом, из чего заключают, что солнечные лучи заключают в себе все цвета, хотя с виду они кажутся желтоватыми». *«Отсюда же заключают, что белый свет вовсе не простой, а состоит из смешения всех простых цветов»*.

К вопросу о *причине тяжести* Эйлер подходит уже после того, как вывел и определенно подтвердил все законы притяжения Ньютона. «До сих пор я старался сообщить Вашему высочеству общее понятие о тех силах, от которых зависят самые крупные явления в мире, и о силах, которые управляют движениями небесных сил». «Теперь же естественно возникает вопрос, какова же причина этого всеобщего притяжения, или отчего тела взаимно притягиваются?» «Я не стану утомлять внимания Вашего высочества перечислением всех придуманных на этот счет гипотез и ограничусь общим замечанием, что вообще мнения физиков и философов по этому вопросу распадаются на две главных категории». Одни утверждают, что притяжение составляет существенное внутреннее свойство материи, а другие, — что оно осуществляется через «посредство невидимой тонкой материи. Первого мнения придерживаются преимущественно английские физики, опирающиеся при этом на авторитет Ньютона. *«Но я уже много раз напоминал, что такое мнение приписывается ему (Ньютону) неправильно»*. Второе же мнение, согласно которому тяжесть есть действие тонкой материи, особенно отстаивали, как сказано, Декарт и Гюйгенс. И действительно, естественнее думать, что два значительно удаленных друг от друга тела сближаются при посредстве какого-нибудь вещества, чем предполагать, что они притягиваются внутренними силами без посредства промежуточной среды. По крайней мере, только первое мнение согласуется с прочими нашими опытными данными».

«Представим себе на минуту, что творец, прежде чем создать вселенную, сотворил два тела на большом расстоянии друг от друга и что, кроме этих тел, ничего другого не было. Возможно ли, чтобы они сблизились между собой? *Каким образом могло бы существование*

312 ЭФИР КАК ПРИЧИНА

*одного тела стать заметным для другого при их огромном удалении? Каким образом могло бы одно тело получить склонность приблизиться к другому?». «Поэтому мнение ученых, которые объясняют тяжесть действием тонкого вещества, окружающего все тела, представляется более правильным. Но это и все, что можно утверждать. Выдавать эту гипотезу за истину нельзя; на ее пути еще много трудностей». Здесь Эйлер держится еще нейтрально; но в другом месте своих писем он высказывается уже более определенно: «Тем не менее, мысль, что притягательная сила есть существенное свойство материи, представляется мне связанной с такими трудностями, что лично я, по крайней мере, не могу согласиться с ней. Много вероятнее кажется мне другое мнение, согласно которому притяжение есть действие тонкой материи, заполняющей все небесное пространство. Правда, вид и способ движения этой материи, равно как способ ее действия на тела, еще скрыты от нас; но ведь есть еще много других важных предметов, относительно которых мы вынуждены сознаться в не меньшем незнании». В сочинении «De magnetе» и еще подробнее в трактате «Anleitung zur Naturlehre», найденном в Петербурге лишь в 1844 г., он пытается вывести притяжение двух тел в небесном пространстве непосредственно из давления и движения эфира, наполняющего всю вселенную; но и здесь он не доходит до окончательной цели и останавливается на недоказанном положении, что *всякое небесное тело должно в своей непосредственной близости изменять упругость эфира.**

С большей уверенностью и определенностью прилагает Эйлер свою теорию к объяснению *электрических* и *магнитных* явлений. «Большинство физиков сознаются в неведении, как только им приходится объяснять эти явления. Крайнее разнообразие явлений электричества, увеличивающееся ежедневно новыми открытиями, по-видимому, настолько их смущает, что они теряют всякую надежду доискаться когда-либо до их истинной причины». «Едва ли подлежит сомнению, что главный источник электрических явлений нужно искать в тонкой жидкой материи; но придумывать ее специально для этой цели нам (подобно другим физикам) не приходится. *Эфир — эта тонкая материя, действительное существование которой я уже ранее доказал Вашему высочеству, — совершенно достаточен для того, чтобы естественнейшим образом объяснить самые поразительные из электрических явлений.* «Так как эфир есть вещество, схожее с воздухом, но несравненно более тонкое и упругое, то он может находиться в покое лишь при условии, если его упругость повсюду одинакова. Едва он становится более упругим в одном месте, чем в другом, как тотчас же он начинает расширяться и сжимать соседние части, пока в обоих местах не восстановится одинаковая степень упругости». «Поэтому, если эфир не находится в равновесии, то с ним происходит то же, что происходит с воздухом, когда его равновесие нарушается; от мест большей упругости он распространяется к местам меньшей упругости, но распространяется со значительно большей скоростью, чем воздух, так как его тонкость и упругость во много раз выше». Эфир распространен повсюду, не исключая и самых малых пор в телах, а последние бывают двух родов, большие и малые. *Большие поры, по которым эфир может свободно циркулиро-*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ 313

вать, называются открытыми порами; те же, которые пропускают эфир лишь с трудом и задерживают его, называются замкнутыми порами». «Большинство тел имеют поры средней величины, и мы будем их считать более или менее замкнутыми, более или менее открытыми». Если бы поры во всех телах были совершенно замкнутые, то изменить упругость заключенного в них эфира было бы невозможно; «то же самое было бы и в том случае, если бы поры всех тел были совершенно открытые». Но так как поры тел не являются ни вполне замкнутыми, ни вполне открытыми, то нарушить равновесие заключенного в них эфира возможно; и когда это случается, то за этим непременно следует восстановление равновесия, но последнее происходит не мгновенно, а в известной постепенности. «В воздухе, которым мы дышим, поры почти совсем закрытые, поэтому эфиру столь же трудно проникнуть в воздух, как и выйти наружу тому эфиру, который туда проник. Поэтому, когда эфир воздуха не находится в равновесии с эфиром других тел, то восстановление равновесия происходит не только не мгновенно, но с известным трудом. Это, однако, касается лишь сухого воздуха, потому что природа влажности совсем иная». «Все зависит (в электричестве) от неравной упругости эфира в порах тел». «Когда эфир переходит из тела, где он более сжат, в другое, то находящийся между телами воздух сильно препятствует такому переходу, так как его поры почти замкнуты. Но, в конце концов, эфир, при его крайней тонкости, все-таки проникает через воздух, если только напор его не очень слаб и расстояние между телами не очень велико. Так как, однако, переход связан с известным усилием или напряжением, то происходит то же, что мы наблюдаем с воздухом, когда он с силою продавливается через малое отверстие,— слышится шипение». «Подобно тому, как сотрясение воздуха производит звук, соответствующее *сотрясение эфира дает свет*; поэтому всякий раз, как эфир переходит из одного тела в другое, при его прохождении через воздух должен появляться свет то в виде искры, то в «виде луча, смотря по тому, переходит ли эфира мало или много». «Тело может наэлектризоваться двояко, в зависимости от того, обладает ли заключенный в его порах эфир большею или меньшею упругостью по сравнению с окружающим эфиром. Отсюда возникают два вида электричества: тот, при котором эфир более упруг или сильнее сжат, называется *положительным электричеством*; другое, где эфир менее упруг или более редок, — *отрицательным электричеством*». «Самое и легкое и известное средство вызвать электричество в телах это — трение. В янтаре и сургуче поры довольно замкнутые, а в шерсти они довольно открытые. При трении поры обоих тел сжимаются, и заключенный в них эфир получает большую упругость. Смотря по тому, сжимаются ли поры шерсти легче или труднее, часть эфира переходит из нее в янтарь, или, наоборот, из янтара в шерсть. В первом случае янтарь делается положительным, во втором отрицательным, и, так как его поры почти замкнутые, состояние это удерживается в нем некоторое время; наоборот, шерсть благодаря ее открытым порам возвращается тотчас же в естественное состояние». Если взять наэлектризованную отрицательно палочку сургуча, то ослабленная упру-

314 МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

гость ее эфира не может выровняться с эфиром воздуха, так как поры в последнем замкнутые; но если к палочке приблизить легкое тело с открытыми порами, то часть эфира из последнего проникает через воздух к сургучу; благодаря этому давление воздуха между легким телом и сургучом понижается, и легкое тело давлением воздуха с противоположной стороны приближается к сургучу. Хотя поры в воздухе замкнутые, но вблизи наэлектризованных тел воздух все-таки изменяется, теряя или воспринимая эфир; эта часть воздуха составляет *электрическую атмосферу наэлектризованного тела*. Таким образом электрические явления происходят оттого, что эфир в одном теле или сжимается или разряжается более чем в другом. «Переходу сжатого эфира из одного тела в другое воздух с его замкнутыми порами оказывает сильное сопротивление; при этом он приходит в сотрясение или колебательное движение, производящее, как мы видели выше, свет. Чем сильнее такое движение, тем ярче свет; он может даже усиливаться до того, что может зажечь или сжечь горючие тела. *В то время как эфир со столь большой силой проникает через воздух, мельчайшие частицы последнего тоже приходят в колебательное движение, которое, как известно, производит звук*». «Так как, далее, тело человека и животных, в его малейших порах, наполнено эфиром — особенно деятельность нервов зависит, по-видимому, от заключенного в них эфира, — то понятно, что ни человек, ни животное не могут быть нечувствительны к электричеству. Как только заключенный в них эфир приходит в сильное движение, действие его должно резко обнаружиться и может оказаться, смотря по обстоятельствам, целительным или вредным». Все, что изменяет величину пор тела и вместе с тем изменяет упругость его эфира, может стать *источником электричества*. Поэтому неудивительно, что некоторые тела, как турмалин, обнаруживают электричество при простом нагревании; или, что *летом в сильную жару восходящие в холодные слои облака наэлектризовываются столь же сильно, что должны раздражаться грозой*.

Таким образом, подобно свету и тяготению, Эйлер объясняет эфиром и все электрические явления; *для одних только магнитных явлений эта тонкая жидкость оказывается недостаточной*. «Положение, в котором располагаются вокруг магнита железные опилки, указывает, несомненно, на присутствие какой-то тонкой невидимой материи, которая, протекая по железным частицам, ставит их в известное положение. Столь же ясно, что эта же самая материя не только проходит через магнит от полюса к полюсу, но, выходя через один полюс наружу, возвращается *через* другой снова в магнит; она, следовательно, находится в постоянном движении, без сомнения, очень быстром и образующем вокруг магнита род вихря. *Сущность магнита заключается, таким образом, в непрерывном вихре, и этим он отличается от всех прочих тел*». «Его тонкая материя должна пронизывать все тела, за исключением железа, так же легко, как она пронизывает воздух и даже чистый эфир, потому что магнитные опыты одинаково легко удаются и в пустоте, под колоколом воздушного насоса. Она, следовательно, отлична от эфира и должна быть даже значительно тоньше его. Она окружает всю землю, образуя вокруг нее общий

ЗНАЧЕНИЕ ЭЙЛЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ ЭФИРА 315

вихрь, и проникает в нее так же легко, как в прочие тела, за исключением железа и магнита; поэтому последние можно было бы назвать магнитными телами в отличие от прочих». *«Итак, я представляю себе магнит и железо имеющими столь малые поры, что в них не может проникнуть даже эфир и входит лишь одна магнитная жидкость; входя в поры, последняя отделяется от эфира, так сказать, отфильтровывается от него. По этой причине магнитная жидкость в чистом виде находится только в порах магнита, а во всех прочих местах она распространена по эфиру и смешана с ним». «Следовательно, в магните, кроме пор, наполненных, как в прочих телах, эфиром, есть еще несравненно более мелкие поры, в которые проникает только одна магнитная материя; последние, сообщаясь друг с другом, образуют тонкие трубки или каналы, по которым магнитная материя течет, но всегда в одном направлении, не имея возможности двигаться в противоположном».*

Таким образом в объяснении магнитных явлений Эйлер почти полностью вернулся к картезианским воззрениям и с точки зрения последних объясняет все известные в его время явления магнетизма.

В эйлеровской теории эфира много заманчивого как раз для современного физика. Несмотря на явные пробелы и даже явно невероятные моменты в объяснении электрических явлений, несмотря на неудачное выделение из них магнетизма, несмотря на пробелы в объяснении эфиром тяготения и прочие недостатки, эта теория представляет высокий интерес в том отношении, что она сводит на эфир как на общую причину механическую силу, свет, теплоту и электричество. Закон превращения сил, экспериментально установленный новейшей физикой, но все еще не получивший общего истолкования, во всяком случае указывает на существование общего корня всех сил. Поэтому Эйлер заслуживает нашей благодарности и высочайшего нашего изумления за то, что он уже более столетия назад не только указал на такую общую причину, но отчасти и вывел из нее явления различных категорий. Если бы даже его выводы были еще менее правдоподобны, чем они были в действительности, то за ними все-таки осталась бы та заслуга, что при всей разрозненности физических исследований они указали на единство всех сил природы.

К сожалению, современники Эйлера не сумели оценить этой заслуги; созидающие факторы тогдашней физики, экспериментальное искусство и математика, были целиком заняты констатированием явлений и установлением численных соотношений; умозрения о сущности явлений, легко способные привести на ложные пути, считались скорее вредными, чем полезными, скорее затемняющими, чем уясняющими. В результате даже авторитет Эйлера не смог побудить современников глубже вникнуть в общие причины явлений и даже наилучше разработанная часть теории, именно, волновая теория света, несколько не могла поколебать господствовавшей тогда теории истечения. Очень характерно воззрения своего времени выражает в своей «Истории оптики» Пристлей. «Несмотря на решительность доводов против мнения, будто свет заключается в колебаниях жидкой среды, особенно с тех пор, как Ньютон в своих «Началах», по видимому, доказал не-

316 ДИНАМИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

возможность подобной гипотезы, ее, однако, до сих пор придерживаются некоторые натуралисты, преимущественно некоторые из знаменитых иностранцев; да и между англичанами были такие, которых лишь с большим трудом удалось убедить отказаться от нее. Никто, однако, не оспаривал ньютоновскую теорию с таким усердием и энергией, как знаменитый математик г. Эйлер, вызвавший снова к жизни и защищавший гипотезу Гюйгенса, согласно которой свет заключается в колебаниях, распространяющихся от светящихся тел в тонкой эфирной среде. Не решаясь задерживать внимания читателя чистыми гипотезами, я ограничусь кратким изложением возражений г. Эйлера против учения Ньютона».

Динамика при исследовании движения на первых порах не принимала во внимание формы тел и изучала исключительно движения неделимых точек; но по мере завершения этих исследований *в круг внимания стали включать и вопрос об общем движении целых систем точек или тел*. Начали с исследования движения *неизменных систем или абсолютно твердых тел*, но уже и здесь встретились со значительно большими трудностями, чем при прежних механических задачах, потому что анализ должен был обнять не только *прямолинейно поступательное*, но и *вращательное* движение, равно как и различные сочетания этих обоих видов движения. Когда тело под влиянием толчка продолжает сообщенное ему движение, оно, как общее правило, не только перемещается в пространстве поступательно, но обыкновенно еще и *вращается при этом около постоянных или переменных осей*. Разработкой вопроса о физическом маятнике Гюйгенс положил начало исследований в этой области, и хотя дело шло только об одном вращении около постоянной оси без перемещения, задача даже и в этом виде оказалась, как мы видели, для того времени очень трудной. Тем не менее, отказаться от подобных задач механика уже не могла, *их ставила, прежде всего, астрономия*. Пока планеты считались совершенными шарами, их еще можно было в небесной механике рассматривать как точки, в которых собрана вся масса планет; но с тех пор как были открыты неправильности их формы, например сжатие, возник *вопрос о влиянии прежде всего этого сжатия на вращение планет; можно было надеяться этим путем объяснить некоторые наблюдаемые изменения движения планет, как, например, явления прецессии* и т. п. Уже в 1737 г. Даниил Бернулли и Эйлер показали, что под влиянием косоугольного удара движение тела следует двум законам: 1) *центр тяжести тела движется так, как если бы удар был прямо направлен к центру*, 2) *помимо этого движения тело вращается около своего центра тяжести так, как если бы последний был неподвижен*. После этого встал вопрос о дальнейшей разработке теории подобных вращений около точки. Вращение около центра тяжести может быть вращением около постоянной оси, проходящей через центр, но оно может быть и более сложным, — вращением, при котором положение мгновенных осей вращения непрерывно изменяется. Но, во всяком случае, *вращение подобно поступательному движению, может быть спроектировано на три оси*, или, что то же, оно может быть представлено одновременным движением около трех взаимно перпендикулярных осей, проходящих

ГЛАВНЫЕ ОСИ ТЕЛА. СЕГНЕР 317

через центр тяжести. Для всякого тела существует, в зависимости от его формы, одно определенное положение осей, при котором такое изображение движения оказывается наиболее простым; эти оси имеют то свойство, что тело вращается вокруг них свободно, не проявляя наклонности изменять оси вращения; поэтому эти оси называются *свободными или главными осями тела*. Однако три главных оси тела ведут себя не вполне тождественно. Если тело вращается около оси, не совпадающей с одной из главных осей, но лежащей к ней бесконечно близко, то ось вращения либо постоянно удаляется от этой главной оси, либо остается к ней бесконечно близкой; в первом случае главные оси называются *неустойчивыми*, во втором — *устойчивыми осями вращения*. Если на тело, вращающееся около устойчивой оси, действуют внешние силы, то хотя они и непрерывно изменяют положение главной оси, но все это изменение — в виду того, что тело стремится сохранить свою ось вращения — сводится к вращению последней по конической поверхности вокруг устойчивой оси вращения. Примером могут служить движения наклонно поставленного волчка и вращение планет около устойчивой главной оси, наклонной к плоскости их орбиты. Эту теорию главных осей вращения в общем случае, равно как *представление движений вокруг произвольных осей* в частных случаях Эйлер капитально разработал «в своем главном сочинении «Theoria motus corporum solidarum seu rigidorum» (Росток, 1765; новое изд. 1790 г.). Исходя из специально астрономических точек зрения, д'Аламбер («Opuscules mathématiques». 1761—1768) и Лагранж («Recherche sur la libration de la lune», сочинение, премированное Парижской академией в 1764 г.) пришли к подобным же результатам. Иоганн Андреас Зегнер (1704—1777, сначала врач на родине, в Венгрии, потом в 1733 г. профессор философии в Йене, с 1735 по 1755 г. профессор математики и физики в Гёттингене и, наконец, вплоть до своей смерти — профессор в Галле) уже ранее того открыл *три главных оси вращения* и изложил первые соображения по этому вопросу в 1755 г. в сочинении «Specimen Theoriae turbinum».

Вообще Зегнер был физик, не бесплодно поработавший в различных отраслях нашей науки и давший ряд плодотворных идей. В сочинении «De raritate luminis», (Геттинген, 1740) он пытался очень остроумно защитить теорию истечения против одного возражения, которое позднее Эйлер, тем не менее, снова привел против нее. Указывали, что трудно понять, каким образом могут, не мешая друг другу, потоки световых лучей непрерывно проникать через узкие отверстия в темную комнату. Зегнер указывает, что световому лучу нет надобности быть непрерывным, подобно струе воды. Стоит только принять, что глаз удерживает впечатление в течение шести терций времени, тогда световые атомы в луче могли бы следовать друг за другом с промежутками времени в 6 терций или с пространственными промежутками почти в пять земных радиусов; тогда масса лучей получила бы достаточно времени для прохождения через узкие отверстия. Но, конечно, при этих условиях возможность взаимной помехи стала бы только реже, но она не была бы устранена полностью. Более важное значение имеют две работы того же автора 1750 г.: «Machinae cujusdam

318 ТУРБИНА. СМЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНО НАГРЕТЫХ МАСС

hydraulicae theoria» и «Computatio formae atque virium machinae hydraulicae nuper descriptae», в которых Зегнер впервые описывает названное его именем *водяное колесо* или *турбину* и излагает ее теорию. Он предполагал применять свое колесо к мельнице и дал соответствующие чертежи и описание; но оно стало больше известно позднее по конструкции англичанина Баркера под названием «мельницы без колеса и шестерни».

Хотя *постоянство точек кипения и замерзания жидкостей*, равно как важность этих явлений для устройства термометров были замечены давно, но теоретическая сторона этих явлений оставалась почти не затронутой. Лишь в промежуток времени 1755—1760 г. ДЕЛЮК и д-р БЛЭК подробно исследовали эти явления и даже произвели некоторые измерения расхода тепла при плавлении и кипении.

Жан *Андре Делюк* родился 8 февраля 1727 г. в Женеве, где его отец был часовщиком, но также был известен как духовный и политический писатель. Жан Андре сначала тоже принял активное участие в политической борьбе родного города и в 1770 г. стал членом верховного совета. Но вскоре затем он вместе с братом покинул Женеву и занялся физикой и геологией. После многочисленных путешествий он получил место чтеца при английской королеве Каролине, а с 1798 г. стал профессором физики в Гёттингене. Однако он не остался здесь жить постоянно, а жил попеременно в Лондоне, Берлине, Ганновере и Брауншвейге. В 1808 г. он вернулся окончательно в Англию и умер 17 ноября 1817 г. в Виндзоре.

Джозеф Блэк родился в 1728 г. около Бордо от шотландских родителей, которые послали его для образования сначала в Белфаст, потом в Глазго и, наконец, в Эдинбург. Уже в его докторской диссертации «De acido a cibus orto et de magnesia» (Эдинбург, 1754) и еще более в последовавшем за ним вскоре сочинении «Experiments on magnesia alba, quicklime and other alcaline substances» (Эдинбург, 1775) заключается важное химическое открытие, что едкие щелочи и щелочные земли смягчаются от соединения с особым видом воздуха, который Блэк назвал «*fixed air*». В 1756 г. он стал профессором химии в Глазго, а с 1766 г. — в Эдинбурге. Здесь он и умер 26 ноября 1799 г.

В течение зимы 1754—1755 г. Делюк замораживал воду, оставляя в ней термометр. *Когда сосуды с замерзшей водой ставились на огонь, температура их повышалась лишь до тех пор, пока лед не начинал таять; затем вся поступающая теплота поглощалась, и термометр оставался на 0°, пока не исчезал весь лед.* Еще более точные опыты произвел около того же времени Блэк, изложив их в 1757 г. на своих лекциях по химии в Глазго, а затем в Эдинбурге. Профессор *Рихман* в Петербурге указал («Nov. Comment. Petrop.», т. 1), что *при смешении различно нагретых масс одной и той же жидкости температуры их выравниваются соответственно их высоте и соответственно количествам жидкости*; другими словами, что температура смеси получается по формуле:

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}$$

На этом основании равные количества одного и того же вещества должны при смешении давать среднюю температуру; Блэк же нашел, что после погружения

СКРЫТАЯ ТЕПЛОТА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА 319

в воду при 172° Фаренгейта куска льда равного ей веса при 32° Фаренгейта получается смесь, температура которой не 102°, а 32°, т. е. температура льда; но зато весь лед превращается в воду. В своих «Lectures on the elements of chemistry» (изданных после его смерти Джоном Робайсоном в 1803 г. в двух частях) он говорит: «Тающий лед принимает в себя много тепла, но все действие последнего ограничивается превращением льда в воду, которая несколько не согревается против бывшей температуры льда. Следовательно, некоторое количество тепла или теплорода, переходящего в тающий лед, идет на превращение льда в жидкость, без какого-либо заметного повышения температуры последней. При этом тепло как бы поглощается водою или скрывается в ней таким образом, что термометр не обнаруживает его присутствия». Указывая далее на то, что как при плавлении льда, так и при кипении воды некоторое количество тепла потребляется без повышения температуры воды, он применяет здесь выражение «скрытая теплота».

Делюк, как и Блэк, не опубликовали своих наблюдений тотчас же после того, как они были сделаны; Делюк сообщил о них в своих «Recherches sur les modifications de l'atmosphère» (Париж, 1772), а опыты Блэка стали известны лишь в 1779 г., благодаря Крауфорду. Одновременно Вильке с еще большим успехом занимался вопросом о распределении тепла между различными телами и опубликовал свои результаты в 1772 г. в трудах Королевского шведского научного общества¹. Смешивая теплую и ледяную воду, он нашел, что тепло распределяется по формуле Рихманна; но когда он плавил в теплой воде снег, это правило оказалось неприменимым. При равных количествах снега и воды, в тот момент, когда весь снег превращался в воду, всегда исчезали 72° тепла (по Цельсию). При неравных количествах снега и воды потеря тепла была соответственная, так что для температуры

$$T = \frac{mt - 72m'}{m + m'}$$

смеси (T) он мог дать следующую общую формулу, где m обозначает количество воды, t — ее температуру, а m' — количество снега, имеющего температуру 0°. Эти наблюдения побудили Вильке исследовать, не потребляют ли различные тела при равном нагревании различных количеств теплоты. Нагрев с этой целью испытуемое тело, он погружал его в ледяную воду и определял повышение ее температуры. Вычислив затем по правилу Рихманна то количество воды, согретое до температуры испытуемого тела, которое потребовалось бы для получения наблюденного эффекта, он находил отношение между удельной теплотой воды и удельной теплотой испытуемого вещества или же прямо последнюю величину, так как удельную теплоту воды он принял за единицу.

После этого исследования удельной теплоты тел получили широкое распространение, но при этом большею частью пользовались только

¹ Явления удельной и скрытой теплоты обратили на себя общее внимание лишь после трудов Вильке. Робайсон рассказывает, однако, что около того времени Вильке узнал об опытах Блэка от одного шведа, присутствовавшего при них. Хотя факт этот сам по себе и не возможен, но возможно и то, что Робайсон из патриотизма выдал предположение за факт. Сам Вильке дает понять, что на эти мысли его навел Клингенштерна.

320 ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ

что описанным *способом смешения*. Этот же способ применял и *Блэк*; но особенно много тщательных опытов такого рода изложил *Крауфорд* (1745—1795, врач в Лондоне) в сочинении «*Experiences and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies*» (Лондон, 1779).

Однако этот способ заключал в себе значительные источники ошибок вследствие потери тепла на нагревание сосуда и вследствие излучения; поэтому с 1777 г. *Лавуазье* и *Лаплас* стали употреблять общеизвестный *ледяной калориметр*, при котором удельная теплота тел определяется по количеству растаявшего льда. Но и здесь обнаружились трудности; особенно трудно было точно определить количество воды, образовавшейся из растаявшего льда. По этой причине Вильке даже отказался от мысли определить удельную теплоту по этому способу. Однако в последующее время, как физики, так и химики много работали над изобретением новых калориметров или, по крайней мере, над усовершенствованием прежних.

Эти интересные новые наблюдения дали новую пищу и для старого спора о природе теплоты. *Теории вибраций*, сторонниками которой были *Бэкон* и *Декарт*, уже раньше противостояла теория *особого теплового вещества*. Эпоха после Ньютона была вообще неблагоприятна для всякого рода теорий колебаний, а тут появились еще новые открытия, сделавшие, по-видимому, необходимым принятие особого теплового вещества. *Вильке считает теплоту тонкой материей, частицы которой, взаимно отталкиваясь, большинством тел притягиваются в различной степени*. Всякое тело содержит в себе свойственное ему количество теплового вещества, изменяющееся, однако, в зависимости от состояния тела. Когда воздух расширяется, он получает способность заимствовать теплоту от окружающих тел, отсюда — охлаждение при расширении воздуха и, наоборот, нагревание окружающих тел при его сжатии. Решение этой старой загадки, не поддававшейся до того времени объяснению, Вильке с полным основанием считал новым сильным аргументом в пользу существования теплового вещества, однако, несмотря на то, что и теория флогистона тогдашних химиков со своей стороны говорила в пользу того же предположения, но все же очень медленно получало широкое признание.

Еще сильнее была борьба по поводу другого вопроса, касающегося теории тепла. С тех пор, как начали отличать водяные пары от воздуха, возник вопрос, *какая причина заставляет водяные пары подниматься в воздухе*. Мы уже видели, что даже такие ученые, как *Галлей*, *Цергам* и *Вольф*, держались странной теории пузырьков; ее же придерживался *Мушенбрек*, и она даже до настоящего времени имела отдельных сторонников. В 1743 г. этот вопрос был поставлен Бордоской академией на соискание премии, и в результате, странным образом, премии были присуждены за две работы, содержавшие совершенно противоположные взгляды на этот вопрос: в одной из них, принадлежавшей уже упомянутому выше *Христ. Готлибу Краценштейну* (1723—1759, врач в Галле, профессор физики в Петербурге, а потом в Копенгагене), были взяты под защиту полые пузырьки и даже была определена толщина их стенок (в 1:50000 дюйма); в другой, принадлежавшей *Гамбергеру*, *поднятие водяных частиц объяснялось их*

ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ. СИФОННЫЕ БАРОМЕТРЫ 321

прилипанием к воздуху. В позднейшем сочинении того же автора «Elementa physices» мысль эта превратилась в *теорию растворения воды в воздухе.* Шарль Леруа (1726—1779) присоединился к этой теории и горячо защищал ее в мемуарах Парижской академии 1751 г., указывая на *аналогию смеси паров воды и воздуха с водным раствором соли.* Ему же принадлежит наблюдение и выражение, что *воздух может быть насыщен водяными парами и что насыщающее количество, как и в соляных растворах, зависит от температуры.* Против этой теории растворения возражал швед Валериус Эрикссон (1709—1785 г., в 1732 г. адъюнкт при медицинском факультете в Лунде, потом в Стокгольме, в 1750 г. профессор химии в Упсале; с 1766 г. оставил преподавание), обративший внимание на то, что *вода испаряется и в пустоте.* Интересно, что последнее открытие не убило окончательно теории растворения; последняя имела приверженцев до 1800 г., и даже известный Соссюр боролся за нее долгое время. Впрочем, теперь спор шел не столько о форме видимых паров, тумана и облаков (для которой обе стороны допускали теорию пузырьков), сколько о происхождении невидимых паров, водяного газа. Делюк, лидер противной стороны, исходил в своем сочинении «Recherches sur les modifications de l'atmosphère» из воззрения Ньютона, *объяснявшего испарение отталкивательной силою тепла.* Он считал теплоту веществом несравненно более легким по весу, чем воздух, или даже вовсе невесомым, но способным соединяться с весомой материей, подобно всякому веществу. Благодаря этому *восхождение водяных частиц объяснялось очень просто соединением их с тепловым веществом;* и так как последнему приписывались отталкивательные силы, то тем же соединением объяснялось свободное испарение и образование паров при кипении. В последующей работе «Nouvelles idées sur la météorologie» (Париж, 1787) он несколько усложнил свою теорию с целью отражения некоторых нападок; тем не менее, он не смог довести спора до окончательного разрешения¹.

Исследования Делюка об изменениях атмосферы были важны для физики и во многих других отношениях. Заметив, что в узких трубках ртуть стоит ниже, чем в широких, он первый предложил употреблять *сифонные барометры*, в которых те части трубок, где ртуть поднимается и опускается, должны быть сделаны из трубок равного диаметра. Согласно прежним данным *кипение ртути в барометрах способствовало их свечению;* производя соответствующие опыты Делюк заметил, что барометры с прокипяченную ртутью дают более согласные показания, чем с непрокипяченной. Он нашел, что хотя кипячением совершенно освободить ртуть от воздуха и невозможно, но торичеллиева пустота все-таки содержит значительно меньше воздуха, влияющего

¹ Одно интересное явление испарения не укладывалось ни в одну из теорий. Лейденфрост изложил в сочинении «De aquae communis nonnullis qualitatibus Tractatus» (Дуйсбург, 1756) опыт, которому было присвоено его имя. По его наблюдению будто бы выходило, что количество испаряющейся воды обратно пропорционально количеству потребляемого тепла. После этого было произведено множество проверочных опытов в том же направлении, то, разумеется, безрезультатно (Gehler, Phys. Wörtertb., 2 Aufl. X, 486).

322 ФОРМУЛЫ ДЛЯ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТ

на высоту ртутного столба, и что тогда показания прибора и значительно меньшей степени поддаются влиянию теплоты. До него вовсе не существовало поправок барометрических показаний на температуру, так как при различном содержании воздуха в торичеселлиевой пустоте температура оказывала неодинаковое влияние на различные приборы. Делюк впервые дал формулу для указанных поправок и даже составил таблицу для них. После этого важного усовершенствования Делюк усердно занялся вопросом о *применении барометра для измерения высот*. Уже Галлей дал для измерения высот формулу:

$$h = 900 \frac{\log \cdot 30 - \log \cdot a}{0,0144765}$$

в английских футах, которая приводится к более короткому выражению:

$$h = A \log \frac{B}{b},$$

где h обозначает высоту над уровнем моря, B — показание барометра на уровне моря, b — показание барометра в наблюдаемом месте и A — постоянную величину. Последняя, принятая Галлеем равной $900/0,01144765$,

была, как можно было ожидать, еще неверна; к этому присоединилось еще отсутствие поправок на теплоту; в результате действительные и вычисленные по формуле высоты разнились так значительно, что многие физики стали сомневаться вообще в правильности галлеевского закона. Даже *Даниил Бернулли* в своей гидродинамике отверг этот закон и высказался в том смысле, что вопрос этот слишком сложен, чтобы найти истинный закон связи между высотой места и давлением воздуха. Многие исследователи занимались более точным определением постоянных, и, прежде всего — определением высоты, которая соответствовала бы снижению барометра с 336 до 335 линий. *Цейцхер* (1709), *Цельсий* (1730) и *Шобер* (1743) пытались найти эту величину путем непосредственных измерений на отвесных скалах и в шахтах. *Буге* («Figure de la terre», 1749 г.) вывел из своих тригонометрических измерений в Перу формулу:

$$h = 10\,000 \left(1 - \frac{1}{30} \right) \log \frac{B}{b},$$

в туазах, которая приблизительно верна для температуры в 6° Реомюра. *Майер* И. Т. (1751) дал еще более простую формулу:

$$h = 10\,000 \log \frac{B}{b},$$

которая достаточно хороша для $13\frac{2}{3}$ Реомюра. *Делюк* сначала вычислял высоты по последней формуле, но, найдя при различных наблюдениях и расчетах сильно различающиеся значения для одной и той же высоты, он это расхождение приписал преимущественно тому обстоятельству, что наблюдения производились при различных температурах. Сопоставив очень внимательно различные показания, он нашел, что все барометрические определения высот, сделанные без учета влияния тем-

БАРОМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. УАТТ 323

пературы, должны быть увеличены или уменьшены на $1/215^\circ$ на каждый градус Реомюра кверху или книзу от $16^{3/4}^\circ$. Таким образом, его формула получила следующий вид:

$$h = 10\,000 \log \frac{B}{b} \left(1 + \frac{t - 16^{3/4}}{215} \right),$$

в туазах. Делюк и сам хорошо понимал неполную точность своей формулы и необходимость ее дальнейшего исправления; но все-таки основа для дальнейшей разработки вопроса им была дана. Барометрическая поправка Делюка стояла в связи с его измерениями *коэффициента расширения воздуха*. Согласно этим измерениям, высота воздушного столба изменяется, начиная от $16^{3/4}^\circ$ Реомюра, на $1/125$ своей высоты для каждого градуса температуры. Ламберт определяет в своей пирометрии расширение воздуха в пределах от 0° до 100° Цельсия в $375/1000$, что довольно хорошо согласуется с результатами Делюка.

По вопросу о *причинах барометрических колебаний* в одном и том же месте мнения все еще продолжали сильно расходиться. В начале рассматриваемого периода многие физики придерживались еще того мнения, что когда барометр падает, то это означает, что где-нибудь в какой-либо части атмосферы идет дождь и потому воздух становится легче. Даниил Бернулли высказал в своей «Гидродинамике» мысль, что при повышении температуры в подземных полостях содержащийся в них воздух выталкивается в атмосферу и производит повышение барометра. Однако Клод Лека (1700—1768) первый высказал резонную мысль, что *теплый воздух легче холодного, поэтому южные ветры дают понижение, а северные, наоборот — повышение барометра*.

В заключение отметим, что в этот, столь плодотворный для теории теплоты период стали систематически заниматься и вопросом о лучистой теплоте. Этим наблюдениям положил начало шведский химик Карл Вильгельм Шееле, впервые употребивший и термин «лучистая теплота» в своем «Химическом трактате о воздухе и огне» (Упсала и Лейпциг, 1777), Опыты флорентийских академиков о *холодном лучеиспускании* почти не обратили на себя внимания. Можно еще указать на несколько наблюдений Мариотта (1682) и Ламберта о пропускании стеклом тепловых лучей. В указанном выше сочинении Шееле находятся уже следующие положения: *движение воздуха не изменяет ни силы, ни направления тепловых лучей; пропуская тепловые лучи, воздух сам не согревается; стеклянное зеркало, отражая световые лучи, не отражает тепловых, а полированная металлическая поверхность отражает и те и другие и не согревается сама, если только она не вычернена*.

С теоретическими открытиями в области тепловых явлений совпали крупные перевороты в техническом применении теплоты. Эти последние связаны с именем Уатта, заменившего прежнюю простую воздушно-паровую машину нынешнею *паровую машину двойного действия*. Отмечают, что эти два явления были известным образом связаны друг с другом.

ДЖЕМС УАТТ родился 19 января 1736 г. в Гриноке, в Шотландии.

324 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

На 18-м году своей жизни он отправился в Лондон в учение к инструментальному мастеру, но по слабости здоровья вернулся скоро в Глазго, где стал заниматься изготовлением мелких физических инструментов. Здесь он познакомился с выдающимися физиками университета; из них на него, говорят, особенно сильно повлиял Блэк, занимавшийся в Глазго своими опытами над скрытой теплотой; Уатт прочел сочинение Дезаюлье и Белирода о паровых машинах; в 1761—1762 гг. он занимался применением папинова котла к измерению упругости водяных паров и составил 1764—1765 г. таблицу упругости паров. В 1764 г. ему дали в починку из физического кабинета университета модель паровой машины Ньюкомена, которая перестала действовать или, может быть, вообще не действовала. Модель была им исправлена и с этой поры Уатт почти исключительно отдался работе по усовершенствованию паровой машины. Благодаря собственному изучению *теплоты испарения* Уатт понял, что впрыскивание холодной воды в цилиндр с целью его охлаждения приводит к бесполезной трате большого количества паров. Поэтому он присоединил к паровому цилиндру особое пространство для охлаждения, конденсатор, в котором и производилось сгущение паров. Но и при этом все-таки терялось много тепла вследствие того, что поршень приводился в обратное движение холодным воздухом, а также вследствие применения воды для охлаждения пара над поршнем. *Это навело Уатта на мысль совершенно устранить атмосферный воздух и применить пар также и для обратного хода поршня. Чтобы обеспечить плотное прилегание последнего к стенкам цилиндра, он применил паклю с салом; он закрыл паровой цилиндр также и сверху и провел через особо устроенную коробку в верхней крышке стержень к поршню таким образом, чтобы при движениях стержня воздух не попадал в цилиндр.* Благодаря этому пар стал единственной двигательной силой в машине, и Уатт мог уже снять с коромысла противовес, служивший обычно для поднятия поршня, а коромысло тесно связать с поршнем и подъемным шестом, в результате чего поршень мог приводиться в движение паром как вверх, так и вниз. Но тогда возникла необходимость в целом ряде новых изобретений. Так, оказалось необходимым заменить цепь, связывающую конец коромысла с поршневым стержнем, каким-нибудь прочным суставом. В то же время связь эту нельзя было сделать неподвижной, так как конец качающегося коромысла описывает дуги, а стержень с поршнем должны перемещаться прямолинейно. Эта задача была блестяще разрешена придуманным Уаттом приспособлением, известным под названием *параллелограмма Уатта*. Для того же чтобы пар как единственный двигатель мог действовать на поршень и сверху и снизу, нужно было такое приспособление, которое сообщало бы паровой котел и конденсатор попеременно и в надлежащее время то с верхнюю часть цилиндра над поршнем, то с нижнюю под ним. С этой целью Уатт изобрел *автоматический регулятор машины*. Далее, ход машины потребовал введения махового колеса и приспособления для приведения его во вращательное движение. Наконец, из конденсатора необходимо было удалять образовавшуюся там теплую воду и накачивать в него холодную. И эти задачи разрешил Уатт так, что эти функции выполняла сама машина.

РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВОЙ МАШИНЫ 325

Перечисленные усовершенствования были осуществлены, конечно, не сразу. Сначала производству практических опытов мешала ограниченность средств Уатта, а затем банкротство д-ра Ребока, с которым он вступил в компанию в 1768 г. Вместе с ним Уатт устроил одну только первую свою машину в угольных коях герцога Гамильтона и получил на нее патент в 1769 г. После банкротства Ребока наступил перерыв в деятельности Уатта до 1773 г., когда он нашел компаньона в лице *Матью Льюльтона*. довольно богатого человека с коммерческими способностями. С ним Уатт основал фабрику в окрестностях Бирмингема и получил в 1775 г. патент на 25 лет.

Атмосферные паровые машины производили только прямолинейное движение вверх и вниз, да и то неровно, толчками; поэтому они едва ли могли служить для каких-либо иных целей, кроме поднятия воды. *Только после того, как Уатт стал приводить поршень в движение вверх и вниз силой, действующей равномерно, то усиливаемой, то ослабляемой по произволу, после того, как он снабдил машину маховым колесом на валу, — появилась возможность удобно передавать движение с парового двигателя на другие машины.* Хотя вначале машины Уатта и употреблялись только для поднятия воды, но вскоре поняли возможность их применения для других целей, и они стали очень быстро распространяться, по крайней мере, в Англии и Франции, где паровую машину стали применять в качестве двигателя для других машин. Так, уже в 1788 г. Уатт и Бультон соорудили *паровую машину для чеканки монет*, а в 1791 г. в Лондоне сгорела паровая мельница, называвшаяся Альбионской. О Германии же еще *Поппе* в 1807 г. в своей «Истории технологии» говорит следующее: «В Германии мне не известно ни одного случая применения паровой машины для приведения в движение мельницы; да и в других механических производствах она применяется очень редко. Причина этому ясна. Паровая машина стоит дорого и постоянно требует много горючего материала».

Определение действующей силы паровой машины с помощью *манометра* и исчисление с помощью этих данных ее мощности не представляли трудностей. Наоборот, *оценка трудоспособности человека и животных была всегда делом очень трудным.* Со времени появления в свет сочинения *Борели* «De motu animalium» механика человеческих и животных движений и измерение действующих при этом сил постоянно занимали умы. *Делигар, Паран, Амонтон, Даниил Бернулли и Дезаюлье* пытались определить для частных случаев главным образом *границы трудоспособности животных и человека.* *Грэгг* употреблял в качестве динамометра коленчатый рычаг с передвижным грузом на длинном плече; *Леруа* употреблял с той же целью спиральную пружину, а *Эдм Ренье*¹ (1741—1825) уже в конце столетия устроил употребляемый до сих пор динамометр в форме эллиптической пружины. *О трудоспособности человека в течение продолжительного времени и о механике его движения выдающуюся работу написал Ламберт* в 1776 г.²

¹ Mémoire explicatif du dynamomètre et autres machines par Regnier, Париж, 1798.

² Sur les forces du corps humain («Berl. Mém.», 1776).

326 О ТРУДОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Ламберт разбирает различные виды механической деятельности человека при бегании, тяге, толкании и пр. отдельно для каждого процесса, стараясь выразить уравнениями взаимную зависимость между грузом, скоростью и высотой поднятия. При этом он подчеркивает необходимость точно различать вид движения, соответствующий данному действию; этим, главным образом, и объясняется, по его мнению, значительное расхождение результатов, полученных такими людьми, как *Даниил Бернулли* и *Дезаюлье*. Как образец тщательного изучения какого-нибудь движения, он приводит следующий остроумный пример. При быстром беге человек употребляет ноги лишь для того, чтобы отталкиваться в надлежащий момент от земли. Так как бег есть движение падения, то центр тяжести тела описывает параболы; бегущий должен соприкоснуться с землею лишь в тот момент, когда центр тяжести находится на вершине параболы — не раньше, так как в противном случае человек устал бы бесполезно, не позже, так как иначе толчок был бы слишком силен, колена согнулись бы и центр тяжести опустился бы ниже, чем следует. Поэтому скорость бега и выносливость зависят не столько от силы, сколько от ловкости бегущего, тем более, что по мере ускорения бега действие тяжести все более уменьшается.

Кулон, о котором мы сейчас будем говорить подробнее, написал вскоре после Ламберта работу по тому же вопросу («*Mém. de l'Institut*», т. II), выдвинув опять-таки новую точку зрения. Он утверждает в своем сочинении, что о трудоспособности человека нельзя судить только по работе, произведенной им за короткое время, — *следует также принимать в расчет и последующее утомление. Чтобы получить из данной рабочей силы максимально возможный полезный эффект, необходимо, чтобы частное от деления полученного эффекта на вызванное им утомление представляло собою тахітит. Даниил Бернулли полагал, что величина работы и утомления пропорциональны друг другу; при этих условиях, конечно, вопрос об утомлении был бы излишним. Но Кулон утверждает, что для разных случаев применения рабочей силы отношение между произведенной работой и утомлением различно и что вся задача заключается в определении именно этого отношения в каждом частном случае.* Такие определения он и произвел. Даниил Бернулли определил величину дневной работы человека средним числом в 274 701 килограммометр («*Prix de l'Acad.*», т. VIII), Кулон же находит, что дневная работа человека, если она заключается в поднятии веса собственного тела вверх по вертикали, равна 204 601 килограммометру; если у носильщика к весу собственного тела присоединяется еще груз в 68 килограммов, то дневная работа равна только 10 900 килограммометрам, а при передвижении только собственного тела по горизонтальной плоскости дневная работа составляет 3 500 000 килограммометров. Подобным же образом Кулон рассматривает далее отдельно работы: забивание свай, вращение ворота, передвижение тачки, копанье земли заступом и т. д.

В области *электричества от трения* как опытная, так и математическая физика уже в этом периоде довели учение до известной законченности. Экспериментальные физики усовершенствовали главным обра-

ВОЛЬТА. ЭЛЕКТРОФОР. ЛНХТЕНБЕРГОВСКИЕ ФИГУРЫ 327

зом *электрические приборы*; в этом отношении уже и теперь выдается *Вольта*, сделавший впоследствии так много для гальванизма. *Александр Вольта* родился в Комо 18 февраля 1745 г., рано стал заниматься электричеством и уже в 1769 г. написал сочинение «*De vi attractiva ignis electrici*», за которым последовали многие другие. В 1774 г. он стал преподавателем физики в гимназии в Комо, а в 1779 г. — профессором физики в Павии. Наполеон I назначил его сенатором Итальянского королевства и возвел в графское достоинство. В 1815 г. Вольта стал директором философского факультета в Падуе. Умер он 5 марта 1827 г. в своем родном городе Комо. Полное собрание его сочинений появилось в 1826 г. в пяти томах.

В 1762 г. *Вильке*, производя электрические опыты со стеклянной пластиной, снабженной съемными обкладками, сделал интересное открытие, долгое время не поддававшееся никакому объяснению. Когда он разряжал пластину с обкладками, заряженную наподобие лейденской банки, и затем снимал обе обкладки или даже только одну из них, то каждая оказывалась вновь наэлектризованной и притом со знаком, противоположным тому, какое она имела, будучи на стекле. Удалив с обкладок это электричество и вновь наложив их на стекло, он замечал, что обе они опять наэлектризовались. Этот процесс *Вильке* мог повторять в течение многих дней ни разу больше не заряжая заново пластин. *Беккария* объяснил это явление в 1769 г. очень странной *теорией постоянного самовосстановления электричества*, согласно которой проводник и непроводник при соприкосновении их поверхностей выделяли из себя электричество, а при разъединении снова его забирали. *Вольта* возражал против такого объяснения и *попытался вывести эти явления из теории электрических сфер действия*. Вместе с тем ему пришла мысль воспользоваться подобными стеклянными пластинами с обкладками как постоянным источником электричества, и результатом этого явилось устройство им известного, удобного по своей форме, употребляемого и до сих пор прибора, который *Вольта* назвал *elektroforo perpetuo* (постоянный электрофор). В июне 1775 г. он сообщил об этом, прежде всего *Пристлею*, а потом и многим другим лицам. *Вильке*, хотя и дал первый толчок к открытию электрофора, хотя и позднее еще много поработал над объяснением сделанных им открытий, скромно заявил, что мысль о сохранении электричества не пришла ему в голову. Таким образом слава этого открытия осталась за одним *Вольтой*.

Электрофор оказался очень плодотворным прибором, так как он вскоре привел к новому открытию, не менее изумившему физиков. *Георг Христофор Лихтенберг* (1744—1799 г., профессор физики в Гёттингене) заметил случайно, что если направить электричество с острия на смоляную поверхность электрофора и посыпать ее потом смоляным порошком, то последний пристает к смоляной поверхности только местами, образуя известной формы фигуры. Далее, он заметил, что для положительного и отрицательного электричества фигуры имеют различный вид. Эти опыты в различных интересных видоизменениях он описал в трудах Гёттингенского научного общества за 1777 и 1778 гг. Большинство физиков ожидало очень многого от *лихтенбер-*

328 ЭЛЕКТРОМЕТРЫ

говских фигур, полагая, что они дадут материал для выбора между противоположными теорией Франклина и Симмера; но вскоре оказалось, что фигуры эти одинаково объяснимы и с точки зрения единства и двойственности электрической жидкости.

Вольта между тем продолжал свои электрические работы с большим успехом. В 1781 г. он изобрел *соломенный электрометр* и сумел придать ему очень большую чувствительность; кроме того, эти приборы были так точны, что показания новых электрометров были сравнимы не только между собой, но и с показаниями других электрометров. Однако он не удовольствовался этим прибором и для случаев малых количеств электричества изобрел в 1782 г. *электрический конденсатор*, который впоследствии (1787) он связал непосредственно с электроскопом, сделав его, таким образом, важнейшим прибором для исследования очень слабых источников электричества. Из прочих изобретений Вольты за этот период времени упомянем еще об *электрическом пистолете* (1777) и важном приборе *эвдиометре*, употребляемом благодаря своей надежности еще и настоящее время¹.

Вообще в это время было предложено много видов электрометров. В 1779 г. *Кивалло* заключил пробковый электрометр Кантона в стеклянную банку, чтобы устранить влияние воздушных течений. *Генли* уже в 1772 г. устроил свой *квадратный электрометр*, а *Беннет* опубликовал в 1787 г. описание своего *электрометра с золотыми листочками*. Крутильные весы *Кулона*, этот наиболее тонкий прибор для измерения количеств электричества, были тоже изобретены в это время. Такое обилие приборов для измерения электричества ясно указывает, что уже созрела потребность заняться количественной стороной явлений, которые до тех пор изучались лишь качественно.

До описываемого времени электрики почти не задавались математическими вопросами, но теперь, когда в основу объяснения электрических явлений были положены жидкости с отталкивательными и притягательными свойствами, естественно возникли вопросы о *количествах этих жидкостей в наэлектризованных телах и о законе зависимости сил, присущих этим жидкостям, от расстояния*. Первой цели еще кое-как удовлетворяли наличные электрометры, но для второй долгое время не находилось ни приборов, ни подходящих исследователей. Так, знаменитый химик *Генри Кавендиш* попытался в 1771 г., исходя из теории единой электрической жидкости, определить зависимость действия электричества от расстояния. Однако он не смог допустить, чтобы уменьшение силы притяжения электричества, подобно тяжести, происходило пропорционально квадрату расстояния, и оставил вопрос о показателе степени расстояния пока нерешенным, колеблясь между 1 и 3. Надежные основы для этих исследований, приведшие к правильным результатам, были даны Кулоном.

Шарль Огюстен Кулон родился 14 июня 1736 г. в Ангулеме. Окончив учение, он поступил на военную службу, пробыл несколько лет на

¹ Из приборов Вольты сохраняются: 1) в Миланском королевском институте наук — электрофор, электрометр, конденсатор, водородная лампа; 2) в Комском лицее Вольты — электрофор, электроскоп, водородное огниво электрический пистолет, эвдиометр (*Gerland, Leopoldina, XVIII, 1882*).

КУЛОН. КРУЧЕНИЯ. ЗАКОН КУЛОНА 329

острове Мартинике и, вернувшись оттуда по расстроенному здоровью, поступил на службу инженером по крепостным и водным сооружениям. Одновременно он занимался научными исследованиями в области механики, магнетизма и электричества. Благодаря своим научным трудам он пользовался большим почетом, получил звание подполковника инженерных наук, в 1781 г. был избран членом академии, а затем был также назначен одним из генерал-инспекторов министерства народного просвещения. Когда разразилась революция, он отказался от всех должностей и отдался исключительно научным исследованиям. Умер он 23 августа 1806 г. в Париже. Уже в 1777 г. Кулон опубликовал исследования об *измерении кручения волос и шелковых нитей*; позднее он присоединил к ним исследования над *кручением металлических проволок* и опубликовал подробное описание своих приборов в сочинении «Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de métal etc.; construction de différentes balances de torsion pour mesurer les petits degrés de force» («Per. Mém.», 1784). При посредстве своих крутильных весов, которыми он пользовался при этих измерениях, он произвел тогда точные измерения электрических и магнитных сил, изложенные им в мемуарах Парижской академии между 1785 и 1788 гг. Приняв существование *двух электрических жидкостей*, чем он сильно помог победе дуалистической теории, он с помощью своих весов *показал относительно обеих жидкостей, что их отталкивательные, а вместе с тем притягательные силы находятся в обратном отношении к квадратам расстояний*. Так, например, сообщив маленьким шарикам своих весов столько электричества, что плечо крутильных весов отклонилось на 36° , он закрутил подвесную нить навстречу отклоняющей силе на 120° , и тогда отклонение уменьшилось до 18° , а когда он закрутил нить на 567° , отклонение уменьшилось почти до 9° . Значит, отклонениям шариков на 36° , 18° и 9° соответствовало закручивание нити на 36° , приблизительно на 144° и приблизительно на 576° , последние же величины, а, следовательно, и отталкивательные силы действительно находятся в обратном отношении к квадратам отклонений или расстояний. Затем Кулон занялся изучением *распределения электрической жидкости* в наэлектризованных телах, и нашел, что и оно следует данному им закону отталкивания, именно, что в соответствии с ним жидкости не распространяются по всей массе тел и не вступают с ними в соединение вроде, например, химического; в проводниках они располагаются лишь на поверхности, собираясь в различных местах более или менее густо в зависимости от кривизны поверхности, в непроводниках же они проникают внутрь тела. *Теорию двух жидкостей, равно как закон их действия*, Кулон распространил на *магнит*; но здесь он принял, что *всякий магнит состоит из множества элементарных магнитов*, в каждом из которых имеются обе магнитные жидкости и действие которых находится в обратном отношении к квадрату расстояния. Затем он доказал, что всякий магнит может быть насыщен магнитной жидкостью лишь до известного предела; что магнит действует в некоторой степени на все тела; что земной полюс притягивает и отталкивает магнит одинаково сильно и что направляющая сила земли, действующая на магнитную

330 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СКАТ. ПРИСТЛЕЙ

стрелку, пропорциональна кубу длины этой стрелки. Кулоновская теория жидкостей и закон действия их сил открыли возможность математического исчисления распределения электричества на телах правильной формы, а крутильные весы дали возможность точно проверить результаты вычисления та опыте. Однако этот прибор долго не был оценен по достоинству, а зачастую экспериментаторам не хватало необходимого умения им пользоваться. Вольта считал свой электрометр более подходящим прибором для измерения, чем крутильные весы, а проф. *Кэмпи* получил при посредстве крутильных весов для показателя степени, в которой электрические силы уменьшаются с расстоянием, не 2, а 1,237 результат, очевидно происшедший либо от неточности манипуляций, либо от негодности прибора.

В 1772 г. англичанин *Джон Уэльш* (ум. в 1795 г.) открыл новый источник электричества в рыбе, известной с тех пор под именем *электрического ската*. *Raja Torpedo*. Способность этой рыбы давать сильные удары была известна издавна; о ней упоминает *Аристотель* и *Плиний*, а по *Диоскориту* и *Галену* ударами ее лечили ломоту и мигрень. В новое время *Реди*, *Реомюр* и др. исследовали специальный орган, которым рыба наносит удары; но составные части его были приняты за мышцы, и удары были признаны действием мускульной силы. Когда впоследствии подобное же свойство было открыто в электрическом угре и в электрическом соме, стали подозревать электрическую природу ударов, но точно было это доказано лишь опытами *Уэльша* в Ларошели. Вслед за этим знаменитый анатом *Джон Гунтер* опубликовал превосходные описания электрического органа. Сочинения обоих авторов появились в «*Philos. Transact.*» в 1773 г.

В заключение упомянем о Пристлее как о чрезвычайно важном *историке электричества*, — ученом, который имел значение и как исследователь-физик, но больше известен своими капитальными работами в области химии. Поразительно быстрые успехи естественных наук, а также и математики не оставляли места для интереса к истории развития этих отраслей знания вплоть до половины XVIII столетия; но мало-помалу стала чувствоваться потребность обсудить с объективной точки зрения *источники и ход развития науки*, и в конце XVIII столетия (а также и в начале XIX) появились многочисленные сочинения по истории наук, в том числе и физики. Монтюкла в своей обширной гениальной истории математики дал подробный обзор исторического развития математической физики, а Пристлей написал хорошую историю электричества и оптики.

Джозеф Пристлей родился 13 марта 1733 г. в Фильдгеде, около Лидса. Отец его был купец, придерживавшийся пресвитерианской церкви. По окончании учения молодой Пристлей сделался учителем в Диссентерской академии в Уаррингтоне, а потом с 1767 г. — проповедником в Лидсе. Первым его сочинением в 1761 г. была английская грамматика, которая и до сих пор не потеряла своего значения. В 1765 г., в бытность свою в Лондоне, он получил предложение от Франклина, Уатсона и др. написать историю электричества. Сочинение это появилось через два года под заглавием: «*History and present state of electricity with original experiments*» (Лондон, 1767 г.; прибавления —

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ 331

1770 г.). Оно получило всеобщее одобрение, выдержало много изданий, а в 1774 г. появилось в немецком переводе. Автор был избран членом Королевского общества. Живя в Уаррингтоне вблизи пивного завода, он стал исследовать воздух, выделяющийся при брожении, а также влияние его на дыхание и горение. Тогда же он открыл в растениях способность восстанавливать испорченный воздух. В 1772 г. он предложил способ готовить искусственные минеральные воды, а в 1774 г. действуя зажигательным стеклом на ртутную известь (т. е. окись ртути), он получил «дефлогистезированный воздух», т. е. кислород. В 1772 г. появилось другое его историческое сочинение, именно: «History and present state of discoveries relating to vision, light and colours» (Лондон, 1772 г.; на немецком— 1775 г.). Эта история оптики встретила в Лондоне не вполне благоприятный прием, поэтому Пристлей удалился с графом Шельберном, к которому он поступил домашним учителем, в поместье; предавшись здесь на досуге физическим и химическим работам, он, опубликовал их результаты в целом ряде сочинений. В 1775 г. он занялся философией и, несмотря на свою крайнюю религиозность, в психологии стал на сторону чисто материалистической системы Гартли, вследствие чего он разошелся со своим графом. С 1780 по 1791 г. он был проповедником в Бирмингеме, где во время народного возмущения как свободный мыслитель он потерял все свое состояние и чуть не заплатил жизнью. В 1794 г. он переселился в Пенсильванию и умер 6 февраля 1804 г. в г. Нортумберленде.

Историю физики нового времени мы заканчиваем 1780-м годом, хотя и не можем указать выдающегося гения, который начал бы с этого времени новую эпоху, и хотя сама наука не делает здесь крутого поворота в своем дальнейшем развитии. Впрочем, общего внезапного потрясения в столь обширной научной области, какой стала физика, уже нельзя было ожидать. Даже внезапное развитие такой новой отрасли, как гальванизм, уже не могло составить эпохи для всей науки в целом, тем менее могли это сделать работы какого-либо одного математика или физика-экспериментатора, так как один человек уже едва ли был в состоянии охватить целиком всю область этой науки. То же нужно сказать и о натурфилософе, который попытался бы в единой формуле подвести общие итоги всему сделанному. Итак, собственно, здесь нет такого резкого поворота в ходе нашей науки, который дал бы основание рассматривать период 1780—1790 гг. как отдельную главу истории физики или вообще отделить новую физику от современной; тем не менее, мы полагаем, что для такого разделения имеется достаточно оснований. Мы приведем эти основания и укажем ряд факторов, которые, хотя и действовали медленно, но в результате постепенно сообщили науке новый вид. Основания для такого разделения мы находим частью в самой физике, частью в соприкасающихся с ней науках.

В физике единственным элементом, обещавшим открыть новую эпоху, являлось развитие электричества. Но *электричество от трения*, в зачаточном виде известное уже в древности, развива-

332 ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

лось очень медленно вплоть до начала последнего своего быстрого роста и вследствие этого оказало столь мало реального влияния на все прочие отрасли физики, что мы можем и последний период ее расцвета вполне естественно отнести к предшествующему периоду истории физики. Напротив, *гальваническое электричество* и основанный на ней *электромагнетизм* настолько чужды прежней физике, что даже самый восторженный поклонник старой науки не мог бы указать в работах греческих или римских физиков какого-либо намека на представление о гальваническом элементе или об электромагните. Но еще важнее то обстоятельство, что *гальваническое электричество все сильнее влияло преобразующим образом на все остальные части физики*, между тем как первый восторг, с которым были встречены в физике действия электричества от трения, испарился, как дым. *Приняв существование двух отдельных жидкостей, теория электричества от трения совершенно отделила друг от друга различные части физики. Гальваническое же электричество, хотя на него и распространялась теория двух жидкостей, благодаря своему многостороннему действию на практике постепенно снова объединило то, что ранее было разъединено по теоретическим основаниям. С тех пор, как научились с помощью гальванических токов получать сильнейшие механические действия, свет, теплоту, а также стали передавать при его посредстве звуки на далекие расстояния и производить сильнейшие химические действия, фактически все отрасли физики, а также и химия оказались связанными единой силой, хотя понять и теоретически объяснить ее единство тогда еще не могли.*

То мировоззрение, которое мы считаем наиболее характерным и плодотворным для физики современности, учение о единстве силы природы, нашло в гальванизме наиболее сильную и наглядную поддержку; хотя в математическом разрезе эта идея была впервые воспринята как эквивалентность механической силы и теплоты, но первый толчок к этому был дан гальванизмом, которому в будущем предстоит стать общим посредником при превращении сил. Поэтому мы уже с чисто физической точки зрения считаем наиболее целесообразным начать изложение современной физики с момента появления гальванизма и связанного с этим фактом завершения числа физических дисциплин.

В пользу последнего решения говорит и развитие *родственной науки, химии*, которая с этого времени приобретает все большее значение для физики. Примерно около 1780 г. химия благодаря *Лавуазье* получает научные основы. Точное наблюдение *количественных соотношений* при всех химических процессах, которое становится ей свойственным с этого времени, превращает ее в выдающуюся математическую науку, которая в своих количественных выводах приобретает чисто математическую надежность. *Открытая этим путем удивительная закономерность химических явлений побуждает к дальнейшим пояснительным опытам, которые, однако, можно проводить лишь на основе каких-либо пред-*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ 333

положений о природе вещества. Поэтому химик снова становится натурфилософом раньше и в большей мере, чем физик, а так как атомная теория, если оставить в стороне чисто принципиальные трудности, оказывается чрезвычайно плодотворной для классификации и объяснения химических явлений, то химик с большим усердием разрабатывает ее и в этой работе скоро приходит в соприкосновение с физиком. Химия первая строит и все больше проверяет эту гипотезу, но скоро и физика использует доставленный ей материал. Это привело к дальнейшему усилению связи между обеими дисциплинами, которая скоро сказалась на развитии теории газов, теории теплоты и которая с течением времени становилась все плодотворнее. Правда, вследствие огромности материала, физик и химик работают уже отдельно друг от друга; но по существу связь между обеими науками все-таки никогда раньше не бывала столь тесной, как теперь.

Подобно химии, и в философии совершился в 1780 г. значительный переворот, таивший в себе задатки большого влияния на физику в будущем. Правда, творения Канта — «Критика чистого разума» (1781) и «Метафизические основы естествознания» (1776) — не могли оказать на физику непосредственного влияния. Но, с одной стороны, новые воззрения, введенные вообще в философию Кантом; настолько усилили последнюю, что она вскоре снова решилась на построение собственных натурфилософских систем; с другой стороны и физика не могла в течение долгого времени оставаться вне среды влияния кантианской философии. А в настоящее время *каждому натуралисту тщательное изучение Канта определенно рекомендуется даже теми, которые не присоединяются слепо к всеобщему призыву «назад к Канту».*

Если, наконец, принять во внимание, что с 1780 г., после завершения Уаттом паровой машины двойного действия, техника стала развиваться с небывалой до того быстротой, видоизменила самый строй нашей социальной жизни и, наконец, стала влиять обратно на физику, ранее полагавшую для нее пути, то понятно, что 1780-й год должен быть признан гранью, отделяющей физику прошлого от новейшей современной физики.

334 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аверани 243
Агвилониус 89
Аджунти 175
д'Алибар 294
д'Алибер 9
Альгевер 210
Альгазен 72
Амонтон 179, 247 249, 325
Андерсон 280
Балдуин 139
Баркер 318
Барроу, Исаак 133, 142, 192, 243
Бартолинус 155, 239, 240
Бауш 152
Бевис 289
Беккария 284, 295, 327
Беллармин 87
Бенедетти 49, 54, 59
Беннет 328
Бергман 305, 306
Беригард 110
Бернулли, Даниил 258, 272, 274, 276, 277, 279, 281—282, 316, 322, 323, 325, 326
Бернулли, Иоганн 41. 227, 237, 243, 244, 251 252, 260—264, 274, 276, 280
Бернулли, Николай 263
Бернулли, Яков 205, 227, 237, 243, 260—262, 274
Бертус 161
Бертъе 296
Бина 284
Блондель 280
Блэк 318 —320, 324
Бозе 286, 290
Бойль 45, 140, 150, 151. 165 170, 176, 193, 194, 206, 208, 209, 210, 238
Больцман 18
Бонд 301
Борда 282
Борелли 21, 153, 171, 174—176, 220
Борель П. 75, 243
Боскович 31, 306—308
Брадлей 212, 265
Брайтон 256
Бранд 139
Броункер 151
Буге 275, 299—300, 302, 322
Буллиальд 220
Бультон 325
Буоно 171
Бюрги 183, 184—185
Бюффон 277—278, 294
Бэкон, Рожер 74, 214
Бэкон, Фрэнсис, барон Веруламский 7, 8—9, 10, 19, 40, 45, 46, 95—108, 116, 139, 148, 153, 194, 216, 229

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 335

Валлис 151, 180—181, 182, 220, 253, 259

Валль 251

Варен 230

Вариньои 223

Веджвуд 302

Везалий 7

Вейгель 246

Вивiani 53, 112, 118, 171, 174, 184

Виллемо 265

Вильке 302, 303, 304—305, 306, 319, 320 327

Винклер 286, 287, 291, 294

Вокансон 214

Воластон 301

Вольта 327, 328, 330

Вольтер 236, 244, 276

Вольф, Христиан 215, 218, 219, 244, 251, 253, 266, 267—268

Вильферс 237

Воэций 27

Вудворд 205

Гадлей Джон 274, 299

Гадлей Джордж 274

Галилей, Винченцо 60—61, 184

Галилей, Галилео 6—14, 20, 21, 26, 36—37, 40, 41, 45, 46, 47, 48 67, 74, 78, 84—89, 108—113, 116, 117, 118, 139, 147, 183, 184, 223, 245

Галлей 142, 205, 210, 211, 222, 227, 237, 249—251, 253, 322

Галлер 204

Гамбергер 320

Гарвей 7, 44, 100

Гарриот 72, 90

Гаррисон 266

Гартсекер 243, 250, 252

Гасконь 179, 200

Гассенди 15, 45, 134—138

Гаузен 285

Гауксби 209, 251, 252, 281

Гвидуччи 88

Гевель 152, 179, 183

Гегель 31

Гейлинкс 154, 218

Гейне 215

Геллибранд 114

Гельмонт 44

Генли 328

Герике 141, 155—165, 167, 208

Герман 244

Герц 18

Герцен 24, 31

Гильберт 67 71, 100

Гислинг 286

Гиортер 279

Гоббс 132, 153—154, 178

336 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Годфри 299

Гольс 256

Гофман 215

с'Гравезанд 215, 241, 244, 281

Гралат 288

Грасси 88, 89, 110

Грация 87

Грегам 264 266, 281, 289, 325

Грегори Давид 237, 263, 298

Грегори Джеймс 180, 237

Грек 264, 269—270

Гримальди 46, 147—149, 183, 198, 238

Губе 284

Гук 151, 153, 166, 176—180, 187, 193, 198, 200, 201, 209, 220, 221, 222, 238, 299

Гунтер 330

Гутшовен 9

Гюйгенс 41, 94, 131, 152, 153, 155,

179, 180, 181—182, 182 189, 201,

203, 207—208, 226, 237, 238—242,

243, 244, 316

Даламбер 245, 259, 273, 274, 275, 276, 298, 317

Далансе 209, 210, 250

Дезагюлье 200, 215, 271—272, 281, 325

Дезе 230

Декарт 7, 9—10, 11, 15—18, 26 27, 29, 41, 45, 72, 116, 117, 120—134, 145, 153, 154, 161, 179, 185—186, 190, 196, 226, 226, 244, 247, 251

Делер 294

Дельбар 229

Делюк 211, 278, 284, 308, 318 319, 321—323

Дергам 187, 210, 253

Дешаль 20, 133, 137, 190 191

Джурин 277

Дивини 242, 299

Дивиш 295

Дидакус 88

Дитрих 279

Доллонд 298, 299

Доминис 89—90

Дреббель 51, 75

Дроз (отец и сын) 215

Дэви 292

Дюлонг 264

Дюталь 251

Жальябер 290

Жилло 9

Зегнер 317—318

Зорге 260

Интенгоуз 297

Кабео 24, 25, 114

Кавалло 328

Кавальери 21, 142

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 337

Кавендиш 289, 305, 328
Казреус 137
Кампани 242
Кант 17, 31, 244—245, 283, 368, 333
Кантон 295, 296—297, 302, 306
Капра 51, 67
Каркави 152
Карно Сади 20
Каскариоло 139, 251
Кассини, Доминик 152, 171, 189, 212, 275
Кассни, Жак (младший) 252, 275
Кассни де Тюри 277
Кастелли 51, 67, 87, 88, 112, 117
Кастель 195
Кателан 186
Каули 255
Каччини 87
Кейль 237, 263
Кемпелен 215
Кеннингэм 265
Кеплер 45, 46, 47, 67, 71—73, 85, 86, 90—92, 220
Кеслер 142
Кестнер 276
Киарамонти 110
Киннерсли 293
Кирхер 25, 113—114, 138—141, 183, 220
Клавиус 87
Кларк 216, 236, 244
Клейст 286
Клемент 185
Клеро 275, 288
Клерселье 132, 133
Клингенштърн 298, 319
Ко 253—254
Кокс 243
Коломбе 67, 87
Кондамин 275, 277
Коперник 70, 82, 88
Корезио 87
Котс 29, 30, 233, 236, 237
Крамер 263, 277
Крауфорд 319, 320
Краценштейн 290, 320
Кремонино 67
Крис 309
Куарье 294
Кулон 284, 326, 328—330
Кунеус 287
Кэмц 330
Лавуазье 320
Ла-Гир 205, 210, 215, 275, 325

338 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Лагранж 274, 317
Лакайль 277, 300
Ламберт 299, 300—302, 323, 325—326
Ламонтр 250
Ланис 215
Лаплас 211, 320
Лейбниц 25, 32—34, 41, 212, 218, 219, 244—247, 249, 256—257, 261, 269, 306
Лека 323
Лемери 305
Лемонье 289, 294, 295, 296
Леопольд 209, 249, 256
Леруа 321, 325
Лесли 209
Лессинг 245
Либеркюн 299
Линней 305
Линус 167, 200
Липперсгейм 74, 75, 76, 77
Литцендорф 285
Лихтенберг 327
Локк 154
Лонгомонтан 137
Лопиталь 243, 261, 262
Лукас 200
Людольф 286
Мавролик 72
Магалотти 171
Магнус 214
Мазеас 278, 294
Майер, Роберт 31
Майльс 286
Маклорен 273, 274
Мальбранш 154, 218
Маральди 241, 275, 277
Мариотт 167, 179, 200, 204 207, 210, 323
Мариус 77, 86
Маркс 16—17, 35
Марци 142—143
Маццони 8, 48
Мейер 266, 275, 322
Менке 153
Меньяк 133
Меран 244, 252, 268, 277, 279
Мерсенн 15, 66, 111, 115—117, 152, 183, 185, 259
Мециус, Адриан 76
Мециус, Яков 74, 75, 76
Молине 209
Мольер 24
Монконис 267
Монтанари 171, 176, 178
Монте, маркиз дель 49, 50, 54, 87

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 339

Мопертюи 237, 275—276

Морен 137

Морленд 140, 179

Мутон 188

Мушенбрек 94, 278, 279—280, 287, 302

Нейль 243

Нобель 259

Нолле 208, 270, 278, 289—291, 296, 306

Норвуд 147, 189

Норман 68

Ноэль 265

Ньюкомен 255, 256

Ньютон 17, 18, 28—30, 41, 130, 153, 168—169, 178, 180, 190, 191, 192—203, 212, 216, 220—238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 249, 251, 258, 262, 263, 175, 281, 297, 299

Озу 152, 179, 243

Ольденбург 151

Оссиандер 30

Оффиреус 215

Пальмерини 87

Папен 155, 183, 189, 207 208, 215, 244, 255, 256—257

Пардиз 201

Паран 215, 249, 325

Паскаль 15, 119, 144—146

Пембертон 237

Перро, Клод и Пьер 205

Перье 145

Пивати 290, 291

Пигот 259

Пикар 152, 179, 189, 210, 251

Планта 297

Порга 74

Потгер 255

Прайс 308

Пристлей 306, 308, 315, 330—331

Пти 264

Рамзден 297

Реаль 183—184

Региомонтан 214

Ради 171, 333

Рейв 243

де-Рейта 137

Рембранц 9

Ремер 152, 155, 183, 189, 211—212

Рен 150, 180, 181, 182, 222, 237

Ренальдини 171

Ренье 325

Реньо 264

Реомюр 278, 830

Рессонс 280

Рихуан 296

Рихтер 200

340 ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Рнцетти 200
Рнччи, Остилио 8, 13, 48
Риччи, М. А. 171
Риччиоли 137, 146—147, 183, 189
Рише 189—190, 230
Роберваль 152, 186, 191, 220, 267
Робинс 281
Рого 130, 236
де-Рома 296
Ротман 73
Румфорд 302
Сагредо 50, 51
Сальвиати 50
Сенгверд 209
Сиго 297
Сильвиус, Боэ 44
Симмер 304
Сиртурус 78
Смит 277
Снеллий 94—95
Север 257—258, 259—260
Соссюр 284, 321
Спиноза 246
Станкари 257
Стевин 60, 146
Стекли 284
Стенонс 171
Сэвери 254—255
Тарджионн 243
Тарталья 12—13
Тартини 260
Тевно 171, 179
Тихо Браге 47, 68, 71, 72, 73, 79, 80, 81, 183
Томпион 264
Томсон 18
Торичелли 13, 21, 46, 112, 117—119, 144
Тоунлей 167, 210
Тэйлор 258—259, 263
Уард 193
Уатсон 286, 289, 291, 295, 305, 330
Уатт 266, 285, 323—325
Уилер 269, 271
Уильсон 295, 305, 306
Уистон 253
Улива 171
Уорчестер 254, 255
Уэльш 330
Фабри 166, 171, 175
Фабриций 7, 87
Фарадей 308
Фаренгейт 266—267

Ферма 9, 132, 133, 220
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ 341
Фехнер 308
Фицджеральд 256
Флюдд 191
Фолькс 289
Фонтана 179
Фонтенель 237
Фоскарини 88
Фосс 94, 131, 176
Франклин 219, 291 295, 305, 330
Фраунгофер 204
Фурнье 11
Фусс 299
Цельнер 301
Цельсий 278—279, 322
Цукки 116
Честер 299
Чирнгаузен 293
Шатле 237, 244
Шееле 324
Шейнер 26, 47, 74—75, 86, 92—94, 110
Шейхцер 322
Шобер 322
Шотт 47, 141—142, 157, 159, 215
Штремер 279
Штурм 209, 215
Шуленбург 178
Эйлер 240, 250, 258, 262, 266, 272, 273, 275, 277, 279, 281, 285, 287, 297—298, 299, 306,
308—315, 316, 317
Энгельс 19—20, 31
Эпинус 302, 303—304, 305—306
Эриксон 321
Юм 217
Янсен 74, 75, 93

342 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аберрация сферическая 196
- » хроматическая 196
- Автоматы 214—215
- Академии 151—153, 170—174, 189—190, 219
- Акустика 46, 65—66, 115—116, 136, 140, 150, 189, 257—260, 277
- Анализ бесконечно-малых 213, 272
- Анаморфозы 141
- Анкерное регулирование маятника 265
- Ареометр 171, 174, 267
- Арматура магнита 66—67, 69
- Атеизм 30
- Атмосфера электрическая 303
- Атомистика 36, 37, 38, 45, 70, 135—136, 165—166, 170, 218, 230, 306, 307—308
- Ахроматизм 285, 297—299
- Баллистика 12—13, 280—281
- Барометр 118—119, 159—160, 179, 189, 210—211, 218, 251—252, 264, 321—323,
- Барометра уровень 206—207, 321—323
- Батарея электрическая 287
- Безмен 50—51
- Биения звуковые 258, 260
- Блуждающие огни 127, 191
- Боязнь пустоты 63, 118
- Брахистохрона 262
- Брожение 262
- Ватерпас (уровень) 179—180
- Ветер 206—207, 211, 268, 274
- Виртуальная скорость см. Скорость
- Вихри Декарта 124—129, 230, 236, 250
- Вода, упругость ее 169
- Водолазный колокол 141—142
- Воздушное давление см. Давление воздуха
- Воздушный насос см. Насос
- Волновая теория света 148—149, 177, 201—204, 238—239, 308—311
- Волны стоячие 66
- Волосность см. Капиллярность
- Волшебный фонарь 138
- Вращательный привод паровых машин см. Привод
- Вращение тел 316—317
- Главные оси тел 317
- Глаз 46, 73, 92—93, 277—278, 297—298
- Горение 151, 167
- Градусные измерения 147, 189, 275
- Громоотвод 293—296
- Давление воздуха 63, 116, 118, 119, 141, 158—161, 167, 172, 176
- Действие на расстоянии 32, 71, 135, 232—233, 236, 247, 306, 311—312
- Динамика 12—13
- Динамометр 325
- Дисперсия света см. Светорассеяние
- Дифференциальный термометр 209

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 343

Дифракция 46, 147—149, 151, 178, 191, 194, 198—199, 226, 241

Дождеизмеритель 210—211

Дождь и снег 141

Замерзание 150, 169, 268, 318

Землетрясения 136

Земной магнетизм см. Магнетизм

Зеркало зажигательное 243

Зрительные трубы 10, 43, 46, 74—78, 84—86, 91—92, 93—94, 179, 196, 242—243, 298—299

Змей Франклина 294—295

Иезуиты 20—27

Изогонические линии 250

Изохрона 261

Индукция магнитная 69

» электрическая 302, 303

Инерция 56, 83, 122, 223

Интерференция света 148, 241

Искра электрическая 252, 270, 293

Истечение жидкостей см. Скорость истечения

Истечения света теория 201—203, 308—310, 315—316

Источники, их образование 205

Калориметр 320

Капиллярность (волосность) 150, 175—176, 261

Катетометр 264

Кеплера законы 80, 81—82

Кипение 150, 167, 172, 191, 208, 210, 248, 318

Количество движения 181—182, 244

Кометы 125, 230

Конденсатор паровой машины 324

» электрический 328

Кондуктор электрической машины 286

Косность см. Инерция

Косоглазие 278

Круги около солнца и луны 191, 204

Кругов деление 179, 265

Крутильные весы 329

Кручение 329

Лед 172

Лейденская банка 286—287, 293

Линия полета падающих тел 49, 52, 61, 226, 261, 262

Магдебургские полушария 159

Магнетизм 45, 66—67, 67—69, 84, 113, 114, 127, 128, 151, 162, 172, 214, 250—251, 264—265, 270, 303—304, 314—315, 329—330

Магнетизм земной 68, 114—115, 249—251, 264—265

Манометр 160

Маховое колесо 256, 325

Маятник 48, 54, 58, 60—61, 116, 175, 182, 183, 184, 185, 186—188, 227, 228, 265—266

Маятник секундный 189, 190, 211

Медицина и естествознание 7

Меркуриальный фосфор 251, 252

344 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Метеорология 146, 150, 161, 171, 209—211, 247—249, 320—323
Метеоры 253
Методология физическая 5
Механика 51 64, 116, 122 123, 136—137, 143, 146—147, 180—182, 183, 185—188, 191, 204—205, 220—225, 226—227, 229—232, 234, 234—236, 243—245, 249, 261, 262—263, 264, 273—275, 316—317, 325—326
Механическая методология 35
Микрометр 179
Микроскоп 46, 94, 299
Мираж 138
Молния 129, 251, 294, 295, 296
Момент силы 53, 59
Монады 246, 247
Наименьшего действия принцип 276
Наклонение магнитной стрелки 68, 265, 279
Наклонная плоскость 55, 58—59
Насос воздушный 141, 158, 159, 161, 164, 166—167, 207—208, 208—209
Насос нагнетательный 209
» центробежный 257
Наука иезуитов 20—27
» официальная 6—8
Обертоны 116, 259, 277
Облака 191, 261
Оптика 46, 66, 71—74, 89—95, 116—117, 124, 130—134, 136, 138—140, 142, 143, 147—149, 151, 168—169, 172—173, 177—178, 192—204, 212, 225—226, 228, 236, 238—243, 264, 277—278, 285, 297—302, 307—308, 309, 315, 330
Оросительная машина 10
Отталкивательные силы 304, 307—308
Отталкивательная сила теплоты 320
Отталкивание электрическое 162, 304
Отражение полное 91
Отражение света 194, 239
Охлаждающие смеси 169
Охлаждение газов при расширении 208
Падение тел см. Свободное падение
Параллакс неподвижных звезд 212
Параллелограмм сил 60, 223
» Уатта 324
Паровой котел Папена 208
Паровая машина 214, 253 257, 324—325
Паровая мельница 325
Паровое судно 257
Паровая повозка 257
Переохлаждение 267
Пирометрия 302
Пистолет электрический 328
Плавление 63, 104, 220, 318—319
Планеты 80, 81 82, 84, 85, 87, 174, 178, 228—229, 229 230, 232, 262, 270—271
Побочные солнца и луны 191, 204
Погреба, их температура 207
Подводное судно 257
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 345

Подковообразный магнит 279
Подушка электрической машины 286, 291
Поляризация света 203, 242
Порох 262
Правила для исследования природы 299
Предварение равноденствий 230
Предохранительный клапан 208
Преломление света 46, 72, 94—95, 132—133, 192, 194 195, 196, 197, 199, 200, 201, 239, 240—241
Преломление света двойное 203, 239—240
Привод вращательный 256, 324, 325
Приливы и отливы 83, 109, 126—127, 147, 220, 230
Принцип д'Аламбера 274
Приступы световых лучей 197—198, 199, 202, 307
Проводники электричества 271
Прочность см. Твердость
Работоспособность 325—326
Радуга 89—90, 133—134, 196
Разрядник электрический 287
Распределение электричества 330
Растворение твердых тел 190
Растворение воды в воздухе 320—321
Регулятор паровой машины 324
Резонанс 259
Рефракция см. Преломление света
Ртуть светящаяся 264
Рупор 140
Светорассеяние 46, 143, 194 199, 297—298
Свободное падение тел 49—50, 54—58, 117, 137, 146—147, 188, 221
Северное сияние 250, 279
Секстант 274
Сила, трактовка понятия 17—18
Силы живые и мертвые 244
Склонение магнитной стрелки 265, 279
Скорость виртуальная 45—46, 52 53, 64
Скорость звука 110, 136, 172, 189, 228, 277
Скорость истечения жидкостей 116, 117, 227
Скорость света 66, 172, 212, 239
Скорость свободного падения см. Свободное падение
Скорость электричества 289
Слепое пятно глаза 204
Слышимости пределы 260
Солнечное изображение в тени 72
Солнечные пятна 85—86
Сопrotивление среды 147, 190, 191, 226, 227, 263, 281—282
Сохранения силы закон 245
Спектральные явления 151, 194—196, 202
Статический момент 186
Стеклянные слезы 150, 178
Струи колебания 46, 65 66, 115—116, 258—260
Сфера электрического действия 303
346 ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Схоластика 14—15, 43, 44
Сцепление 191, 307
Таутохрона 187
Таяние см. Плавление
Твердость тел и плотность 62—63, 165—166, 202, 205
Телескоп Галилея 10
» зеркальный 116—117, 180, 192, 193
Тепловая машина 257
Теплота 46, 51, 70, 101—105, 136, 150, 161, 169, 172, 207, 208, 248—249, 257, 267—268, 285, 318, 319—321, 323—324
Теплота скрытая 268, 319
Теплота удельная 319—320
Термометр 46, 51, 150, 161—162, 171, 174, 210, 214, 247—248, 266—267, 278—279, 318
Термометр дифференциальный 209
Трение 249
Турбина 318
Турмалин 305—306
Тяжесть 45, 70—71, 82, 109, 126, 130, 178, 189, 191, 220—221
Тяготение всеобщее 178, 220—221, 229—230, 306, 307, 311—312
Удар 46, 62, 116, 125, 143, 175, 180—182, 263, 316
Ударная машина 182
Университеты 6
Упругая кривая 261
Упругость 127, 159, 247—248, 264, 307
Уровень см. Ватерпас
Усилительная банка см. Лейденская банка
Ускорение 188
Филология и естествознание 6—7,
Флогистон 218—219, 285
Флуоресценция 140
Фокусное расстояние 91, 142
Фокусные линии 243 261
Фосфоресценция 139, 151, 251, 290
Фотометрия 299—302
Цвет 46, 71, 89, 143, 151, 154, 168—169, 177—178, 194—201, 241—242, 278, 310—311
Цвета тонких пластинок 151, 168—169, 177, 193, 196—198, 190
Цвета истинные (естественные) 89, 151, 198
Цвета физиологические (субъективные) 139, 277
Цветорассеяние см. Светорассеяние
Цветные тени 277 278
Центробежная сила 109, 188
Центр качания 186, 261, 263
Центр тяжести 48, 316—317
Цепная линия 61, 261
Циклоида 187
Часы 180, 183—185, 265—266
Часы карманные 185
Часы с маятником 184
Часовая пружина 180
Эвдиометр 328

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 347

Электричество 42, 47, 62—70, 114, 135—136, 151, 162—163, 168, 214, 251—252, 269—271, 284—285, 285—291, 292—297, 302—303, 312—14, 315, 326—328, 329, 330, 332
Электричество атмосферное 295
Электричество в медицине 290, 330
Электричество рыб 330, 347
Электрическая машина 163, 285—286, 287—288, 297
Электромметр и электроскоп 270, 296, 328
Электрофор 327
Элементы тел 70, 126 128, 166, 306—308
Эолова арфа 140
Эфир 234, 236, 228—239, 261, 264, 308—315
Язык научной литературы 10—11
Якорь магнита 67, 69

Редакционная работа по этой книге проведена *А. П. Юшкевичем*. Издание оформлено *О. И. Пермяниновой*.; Корректуру держала *Н. Демина*. Наблюдал за выпуском *Л. М. Волкович*. Рукопись сдана в производство 27/II 1933 г., листы подписаны к печати 3/X 1933 г., книга вышла в свет в октябре, в количестве 5000 экземпляров, на бумаге формата $62 \times 94 \frac{1}{16}$. Печатных знаков в листе 49000 листов $21 \frac{1}{2}$, заказ № 451, ГТТИ № 25. Ленгорлит № 23628.