

GESCHICHTE DER PHYSIK

von

Prof. Dr. MAX v. LAUE

Göttingen

Dritte, durchgesehene Auflage

ATHENÄUM-VERLAG BONN

1950

М. Лауэ

ИСТОРИЯ
ФИЗИКИ



Перевод с немецкого
Т.Н. ГОРНШТЕЙН
Под редакцией и со статьей
И.В. КУЗНЕЦОВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1956

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эту «Историю физики» я писал по приглашению проф. Ротхаккера для «Истории наук»; ее объем поэтому был заранее ограничен. Подробное изложение дано Э. Хоппе в «Handbuch der Physik» (1926) и в трехтомном сочинении Ф. Розенбергера (1882—1890). Но написанная мной небольшая книга занимается больше современностью; особое значение придается развитию физики за последние сто лет.

Мой верный друг д-р Арнольд Берлинер, основатель и в течение долгого времени редактор журнала «Naturwissenschaften», значительно способствовал моему решению предпринять такую, несколько необычную для меня, работу. Он часто настаивал на необходимости переработать историю физики под современным углом зрения. Этот взгляд человека, наделенного таким тонким и верным чутьем в отношении духовных потребностей человечества, постоянно руководил мною во время этой работы. Берлинер в 1942 г. кончил жизнь самоубийством из-за антисемитских преследований. Посвящаю эту книжку его памяти.

Геттинген, март 1947.

К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Мои лекции по истории физики в Университете привели к ряду дополнений, которые относятся преимущественно к более отдаленному прошлому. Менее значительные изменения произведены также в других разделах. План всей работы остался прежним.

М. Лауэ

Геттинген, январь 1950.



ВВЕДЕНИЕ

История может быть написана с различных точек зрения при полном сохранении достоверности; оправданной является любая точка зрения, исходя из которой историк может открыть что-либо исторически интересное. История науки также допускает различные точки зрения. Эта книга занимается возникновением и изменением некоторых идей и знаний, важных для современной физики. Подобно тому, как история политики не затрагивает текущей политики, так же и история науки доходит только до тех проблем, которые в настоящее время еще не могут быть признаны решенными.

Мы не будем также заниматься слишком далеким прошлым. Конечно, уже у шумеров, вавилонян и египтян по отдельным вопросам физики были ценные знания, которые, однако, производят впечатление чего-то случайного, несистематического, непродуманного. Из тех областей знания, которыми мы здесь занимаемся, собственно только статика, часть механики, начала развиваться еще в греко-римской древности. Из некоторых дошедших до нас высказываний Платона (427—347 до н. э.) мы узнаем о совершенном пренебрежении ко всякому эмпирическому исследованию. Любые попытки «осквернить» возвышенную науку — математику — применением ее за пределами области чистых идей встречали резкое порицание. Именно с этим связано то, что Аристотель (384—322 до н. э.) в своей величественной системе науки дал в области естествознания логический или чаще только

софистический анализ понятий, довольно некритически выведенных из поверхностно установленных фактов. Даже такой гений, как Архимед, не имел значительного влияния. Мы не знаем систематического исследования природы ни в древности, ни в средние века.

Первым признаком нового духа исследования являются великие путешествия в конце XV века. Прежде всего отметим открытие в 1492 г. Америки Христофором Колумбом (1446—1506). Этот герой не только знал об открытой уже Эратосфеном (275—194 до н. э.) шарообразности Земли, но был также первым человеком, твердо в это верившим; на этом основании он и совершил свое предприятие, казавшееся многим современникам безумным. Но еще в XVI столетии, когда с большим успехом усваивали путем переводов и комментариев науку древних, великий подвиг Коперника (1473—1543), выходящий за пределы этой науки, привлек очень мало внимания, не вызвав ни сочувствия, ни критики. Лишь с начала XVII столетия расширяется круг людей, интересующихся естествознанием, настолько, что можно говорить о непрерывно прогрессирующем исследовании. Оно стало особенно бурно развиваться благодаря появившемуся тогда у всех исследователей стремлению обосновывать науку не на спекулятивных методах и традиции, а на наблюдении, больше того — на планомерно проводимых опытах. Это совершенно новое направление представлялось тогда, и еще теперь многим представляется, резким разрывом с прошлым. Так ли это было в действительности? В эпоху античной культуры греческие драматурги проповедовали подчинение индивидуума закону вещей; математики ввели этот принцип в свою науку; новая установка в естествознании явилась только логически последовательным распространением этого принципа на ту область, в которую древние едва только вступили. В 1600 г. вдруг появились два основных средства наблюдения: микроскоп и подзорная труба, и мы не знаем, кто, собственно, их изобрел. Галилей, кото-

рый, в отличие от Коперника, писал для всех, а не только для ученых («математиков», как он их называл), имел многочисленных учеников и последователей. Лишь в это время система Коперника проникла в общее сознание и со всей остротой поднялся знаменитый спор об ее признании. Этот спор, по крайней мере на заднем плане, уже играл роль при осуждении Джордано Бруно (1600); ведь учение о бесконечности пространства и множества миров, которое в приговоре объявлялось одной из его ересей, было, по существу, расширением системы Коперника. Но ни эта смертная казнь, ни отлучение от церкви, на которое в 1633 г. инквизиция осудила Галилея и вообще коперниканцев, не оказали большого влияния. Наконец в начале XIX столетия отлучение в любой форме было снято.

В XVIII и XIX столетиях политические и церковные силы не пытались больше совершать подобное вмешательство в физику; то, из-за чего Лавуазье в 1794 г. кончил жизнь на гильотине, не имеет ничего общего с наукой. Это вмешательство возобновилось лишь во времена Гитлера, в сферу внимания которого попала прежде всего теория относительности. Но и это миновало. В основном физика могла спокойно развиваться по собственным законам*). Она не оставалась при этом чуждой жизни. Оказывая непосредственное влияние своими техническими применениями, она не менее сильно влияла на жизнь как отдельных людей, так и народов своими идеями, в силу чего политическая история также не может быть понята без этих влияний. Одной из попутных целей нашего изложения будет доказательство того, как глубоко проникла мыслительная работа физиков за три или три с половиной столетия в духовное формирование современных людей.

*) Само собой разумеется, что личные судьбы представителей физики переплетались с политическими событиями их времени, но это относится уже к другой странице истории.

Если церковь в общем воздерживалась от вмешательства, то все же на деятельность физиков всегда влияли их религиозные взгляды, правда, часто не идентичные с официальным учением церкви, а скорее философски обоснованные. Это выражено у Кеплера, Декарта, Лейбница, Ньютона, это играет роль в принципе наименьшего действия в XVIII столетии. С тех пор как философия Канта объявила полную независимость научного познания от религиозной веры, больше об этом в сочинениях по физике, пожалуй, ничего не найдется. Отсюда никоим образом не следует, что склонность к исследованию у позже живших естествоиспытателей не была связана с их религиозностью. Положение о том, что научное переживание истины есть в каком-то смысле «видение бога», Фурля, высказывалось искренно даже лучшими из них. Стремление к познанию независимо от его применимости, его пользы, является «основной чертой человека в течение тысячелетий, признаком его высшего происхождения» *).

— — — — —

Физика всегда имела тесный контакт с соседними науками: астрономией, химией, минералогией. Границы между этими науками определяются только довольно внешними различиями, прежде всего различием аппарата, и поэтому они часто перемещаются. В XVII столетии, а также позднее физик, химик и астроном нередко объединялись в одном лице. Роберт Бойль (1627—1691) и Эдм Мариотт (1620—1684), о которых мы будем говорить позднее, были прежде всего химиками; то же относится к Генри Кавендишу (1731—1810), Антуану Лорану Лавуазье (1743—1794) и Гемфри Дэви (1778—1829). В создании понятия атома физика и химия участвовали в равной мере. В конце XIX столетия, благодаря исследованиям Сванте Аррениуса (1859—1927), Якоба Вант-Гоффа (1852—1911),

*) К J a s p e r ' s, Die Idee der Universität, Berlin, 1946.

↓
 во-вторых активно волеет
 и .

не совсем а-ч. Море и...
 еще +
 f

и

Вильгельма Оствальда (1853—1932) и Вальтера Нернста (1864—1941), возникла как отдельная наука физическая химия. В XX столетии физики после долгого перерыва начали опять интересоваться теорией кристаллов, которая до тех пор была в ведении минералогов.

Еще теснее связь между физикой и математикой. Математика стала интеллектуальным орудием физика; только она дает возможность точного научного выражения познанных законов природы и их применения к сложным процессам. Логарифмы, например, которые вскоре после 1600 г. были открыты Иобстом Бюрги (1552—1632) и независимо от него бароном Джоном Непером (1550—1617) и Генри Бриггсом (1556—1630), были впервые применены в астрономических вычислениях Кеплера. Последующие успехи физики, а именно в механике, были теснейшим образом связаны с одновременными успехами в математике (глава 2). И наоборот, часто постановка физических вопросов обуславливала прогресс математики.

Своеобразно отношение физики к философии. В начале рассмотренного здесь периода времени в физике трудились люди, которые нам известны прежде всего как философы: Декарт, который, конечно, принципиально отклонял галилееву методику исследования, или Лейбниц. Кант также выступил как естествоиспытатель; наиболее известными и значительными его достижениями в физике являются космологические идеи о возникновении планетной системы. Позднее происходило скорее наоборот: физики и химики выступали с философскими сочинениями, например Гельмгольц, Мах, Пуанкаре, большей частью по вопросам теории познания, которая из всех философских дисциплин наиболее близка физике. Да простится мне, если я сомневаюсь в том, что все они имели необходимую философскую подготовку для успешной работы. Но вне всякого сомнения успехи естествознания оказывали сильное воздействие на всех выдающихся философов. Наиболее известный пример — влияние Ньютона на

Канта. В XIX столетии возникла вполне обоснованная оппозиция естествоиспытателей против «философии тождества» Гегеля, отказывающей в праве на существование любой опытной науке, — оппозиция, которая, к сожалению, часто распространялась на всю философию и даже на любую теорию в естествознании. Например, Роберт Майер испытал это на себе из-за умозрительного уклона в своих сочинениях, и даже против знаменитого произведения Гельмгольца «О сохранении силы» подымались вначале подобные упреки.

Ясным представляется отношение между физикой и техникой. Последняя является большей частью прикладной физикой, и ее прогресс очень часто идет по следам успехов физики. Но она развивает также собственные, важные для физики идеи, например при устройстве паровой машины (Джемс Уатт, 1770) и установлении динамоэлектрического принципа для динамомашин (Вернер Сименс, 1867). Прежде всего, она во все возрастающей мере расширяет экспериментальные возможности физики. Создание современного физического института было бы совершенно невозможно без широкой помощи техники.

В истории любой науки вопросы приоритета являются сомнительной главой. Иногда даже в наше время, как показывает опыт, бывает трудно решить вопросы приоритета, хотя в журналах опубликовываются все сколько-нибудь достойные упоминания исследования и довольно хорошо организована научная документация. Но насколько это было труднее в те времена, когда для распространения результатов исследования были открыты только два пути: письма и книги! Ведь научных журналов не было до середины XVII столетия. Основанное в 1662 г. Лондонское Королевское общество начало в 1664 г. издавать «Transactions»; этому примеру через большие промежутки

времени последовали другие научные общества и многочисленные академии, основанные к 1700 г. Так постепенно появилась определенная система в области публикаций. Мы не будем много заниматься вопросами приоритета. С нашей точки зрения, например, менее важно знать, что закон газов, названный по имени Роберта Бойля и Эдме Мариотта, был выведен, собственно, из измерений Бойля его еще неизвестным учеником Рихардом Таунли, чем знать, что этот закон стал известен около 1662 г. Правда, не всем; в 1679 г. Мариотт должен был его еще раз открыть независимо от Бойля.

Кроме того, можно установить для всех эпох следующий факт. Стоит опубликовать какому-либо исследователю существенное новое открытие, как рано или поздно появляются голоса, которые заявляют о своем приоритете или о приоритете третьих лиц. Иногда подобные заявления имеют даже некоторое основание. А именно, бывают случаи, когда определенное открытие как бы «носится в воздухе» и фактически делается несколькими людьми независимо друг от друга, потому что развитие науки приводит к нему (см. Бойль и Мариотт). По мнению Резерфорда, лишь в очень редких случаях естественно-научные открытия появляются без соответствующей умственной подготовки мира ученых*). Но все же к подобным заявлениям нужно относиться скептически. Очень часто кто-нибудь высказывает только темные предчувствия, которые потом другой исследователь доводит до полной ясности. Иногда кто-либо сделал наблюдение или имел мысль, на значение и важность которых лишь впоследствии указал другой. Однако все же открытие надо датировать тем моментом времени, когда оно было высказано с такой ясностью и определенностью, что могло повлиять на дальнейшее развитие. Но если оно действительно в подобной форме получило известность,

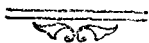
*) Lord Rutherford, Background of modern Science, Cambridge, 1938, стр. 55.

тогда сочинение об этом открытии не следует мелко критиковать, требуя, чтобы в нем каждый второстепенный пункт был в порядке. Никогда не дано человеку сотворить совершенное!

Подобно тому как история народов и государств отмечает только более значительные события и выдающихся людей, история науки рассматривает лишь вершины исследования и рассказывает о тех, кто участвовал в их создании. В тени остаются тысячи людей, пришедших в физику с начала XVII века и из чисто идеальных побуждений посвятивших себя ей иногда до самопожертвования. Но их деятельность не была лишней или напрасной. Только совместная работа многих ученых обеспечила необходимую полноту наблюдений и вычислений и непрерывность прогресса; только разнообразие интересов и дарований помешало тому, чтобы исследование протекало в немногих определенных направлениях; их деятельность была и остается необходимой предпосылкой для появления выдающихся или даже гениальных открытий. Физика, по крайней мере с конца XVII столетия, является плодом коллективной работы. Это — также исторический факт.

Часто можно услышать вопрос об объективности, об истине естественно-научного познания. Вокруг этого вопроса идут споры. Существовали и существуют различные теоретико-познавательные течения (и они нашли в недавнее время широкое распространение благодаря политической пропаганде), которые на основании случайных моментов при возникновении всякого человеческого знания, на основании частой смены физических теорий и воззрений делают выводы, будто все знание, поскольку оно зависит от всевозможных факторов среды, духовных или даже биологических, временно и чисто конвенционально. Действительно, физика никогда не обладала на все времена готовой, законченной формой; она не будет также обладать ею и дальше,

так как конечности ее содержания всегда противостоит бесконечность возможных восприятий. И все же существует доказательство ее объективной истинности, доказательство величайшей убедительной силы: история физики постоянно дает нам все новые примеры того, как две совершенно независимые, развитые различными школами теории, например оптика и термодинамика (гл. 13) или волновая теория рентгеновских лучей и атомная теория кристаллов (гл. 12), неожиданно сходятся и свободно соединяются друг с другом. Кто смог испытать в течение своей жизни подобное в высшей степени поразительное событие или, по крайней мере, в состоянии мысленно его испытать, тот не сомневается больше в том, что сходящиеся теории содержат если не полную истину, то все же значительное ядро объективной, свободной от человеческих прибавлений истины. Иначе надо было бы рассматривать соединение этих теорий, как чудо. Идеалом для истории физики должно быть стремление как можно яснее показать подобные события.



ГЛАВА 1

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Измерение времени является одной из важнейших задач любой науки, занимающейся явлениями в пространстве и времени. Рассмотрим положение дела в этой области.

Кант во всяком случае был прав, когда он представлял время как запечатленную человеческим разумом форму созерцания. Это созерцание непрерывно. Но непрерывность никогда не несет с собой собственной меры; следовательно, чтобы измерить время, надо внести в него систему мер *). Можно, например, произвольно установить отметки времени, нумеруя удары, в то время как кто-либо стучит кулаком по столу. Если соединяют с каждым событием номер одновременного с ним удара, то тем самым устанавливается временная последовательность событий посредством ряда чисел.

Конечно, такое измерение времени недостаточно уже для многих целей повседневной жизни; при его помощи нельзя, например, установить железнодорожное расписание. Последнее должно руководствоваться движением паровозов, подчиняющимся определенным законам природы, а вышеуказанное определение времени не имеет никакого отношения к этим законам. Таким образом, целью измерения времени должна быть

*) Цепь имеет свою меру в себе: можно нумеровать ее звенья; для того же, чтобы измерить совершенно однородную нить, надо положить рядом с нею масштаб и отнести к ней его деления.

связь с законами природы и именно такая связь, чтобы она удовлетворяла требованиям науки, в которой законы природы могут быть сформулированы наиболее простым образом.

Эта мысль, если присмотреться, лежит в основе древних песочных и водяных часов. Устанавливают, что такой процесс, как прохождение определенного количества песка или воды через отверстие, продолжается всегда одинаковое время; насколько подобное утверждение удовлетворяет цели — должен решить опыт. Но подобные часы останавливаются после прохождения всей массы песка или воды; требуется вмешательство, чтобы опять пустить в ход, и это вмешательство влияет на измерение времени. То же относится к употреблявшимся в средние века часам с гирей, в которых для измерения времени служило замедленное трением воздуха падение гири, а также к простому маятнику, период колебания которого Галилей сделал мерой времени. Открытие Галилеем независимости периода от амплитуды колебаний было большим достижением, хотя в противоположность его воззрению эта независимость является лишь приближенной; она имеет место только в случае малых перемещений.

Решающий шаг для создания часов в современном смысле сделал в 1657 г. Христиан Гюйгенс (1629—1695) — тот самый, который открыл кольцо Сатурна и с которым мы в дальнейшем еще много раз встретимся. Он ввел принцип «обратной связи» *); последний термин мы заимствуем, правда, из произведенного лишь в 1906 г. исследования Е. Румера **) относительно возбуждения электрических колебаний.

*) Гюйгенс получил патент на маятниковые часы от Генеральных штатов 16 июня 1657 г. Его сочинение «Horologium» появилось в 1658 г.

**) Открытие Румера относилось к искровым передатчикам. В 1913 г. Форест и почти одновременно с ним Мейснер ввели обратную связь для передатчиков, работающих на электронных лампах, имеющих в настоящее время гораздо большее значение.

При любом устройстве часы состоят из трех существенных частей. Во-первых, они имеют источник колебаний, большей частью в виде маятника или спирали; период колебаний дает меру времени. Но колебания неизбежно должны постепенно затухать вследствие сопротивления трения, если не будет подводиться все время новая энергия движения. Поэтому второй существенной составной частью часов является источник энергии, который накапливает энергию либо в виде упругой энергии напряженной пружины, либо в виде потенциальной энергии поднятой гири; в новых конструкциях применяется иногда электрическая батарея. Третьей и главной частью является аппарат, который доставляет эту энергию источнику колебаний; он должен это сделать так, чтобы не нарушать период колебаний, и при этом источник колебаний сам должен определять моменты времени, когда требуется доставка энергии. В этом и заключается сущность обратной связи, которая впервые появилась в часах Гюйгенса как с маятником, так и со спиралью. Но при всех конструкциях необходимо время от времени снова подводить энергию. Однако это вмешательство в принципе не мешает ходу часов. Таким образом, можно сказать, что подобные часы в основном измеряют время непрерывно.

Конечно, техника часов все совершенствовалась. Требования точности, которым сегодня удовлетворяют каждые более или менее хорошие часы, были во времена Гюйгенса недостижимы. Особенно важным было изобретение В. А. Маррисоном в 1929 г. кварцевых часов, усовершенствованных в дальнейшем А. Шайбе и У. Адельсбергером. В этих часах источником колебаний является кварцевый стержень, который совершает около 100 000 колебаний в секунду и вследствие пьезоэлектрических свойств кварца связан обратной связью с электрической батареей. Их ход постоянен с точностью до $1/1000$ секунды за день.

Чтобы приспособить измерение времени к общественной жизни, до сих пор часы калибруют по отношению к вращению Земли относительно неподвижных звезд. Звездный день заключается между двумя прохождениями одной и той же звезды через меридиан, а средний солнечный день, который мы разделяем на 24 часа (по 60 минут в часе и 60 секунд в минуте), на $\frac{1}{365}$ длиннее. Истинный солнечный день, измеренный между двумя прохождениями солнца через меридиан, изменяется в течение года; поэтому все солнечные часы показывают отклонения до $\frac{1}{4}$ часа по сравнению с правильно идущими механическими часами. Физика, основанная на измерении времени механическими часами, объясняет это отклонениями траектории Земли от круга и наклоном плоскости эклиптики *). Физика, которая хотела бы в основу измерения времени поставить фактический солнечный день, стала бы перед недоуменным вопросом, почему все искусственные часы в своем ходе обнаруживают согласующиеся годовые колебания.

Разумеется, можно рассматривать только как гипотезу положение о том, что период вращения Земли годится для калибровки часов, т. е. что скорость вращения Земли постоянна при измерении времени посредством других хороших часов. Существуют два метода проверки этой гипотезы. Согласующиеся показания хороших кварцевых часов указывают, повидимому, на изменения времени вращения, которые измеряются тысячными долями секунды. Но гораздо вернее будет сравнение с движением Луны и внутренних планет. Время, определенное по вращению Земли, в течение двух последних столетий отличалось на 30 секунд (то в сторону отставания, то в сторону ускорения) от времени, которым пользуются для физического понимания этого движения. Чтобы

*) Это значит, что земная ось не перпендикулярна к плоскости движения Земли, а наклонена на 23° по отношению к нормали.

соответствовать своей цели, измерение времени должно производиться по «планетным часам» как наиболее точным *).

При всех этих размышлениях мы отвлекались от того, что любые из рассматриваемых часов движутся вместе с Землей вокруг Солнца, а также участвуют в суточном вращении вокруг земной оси. Теория относительности учит, как вычислить требующуюся в связи с этим движением особую поправку; но при современной точности измерений эта поправка может не учитываться.

*) В. М е у е r м а п п, Die Schwankungen unseres Zeitmasses. *Ergebn. d. exakten Naturwissenschaften* 7, 92 (1928).



ГЛАВА 2

МЕХАНИКА

Вначале была механика. Как уже было упомянуто, учение о равновесии, статика, уходит далеко в древность. Ее возникновение обусловлено практическим значением, которое имеют для преодоления тяжелой физической работы рычаг, винт, наклонная плоскость и полиспаст. Греки развивали такие понятия, как удельный вес и центр тяжести. Вычисление центра тяжести у тела заданной формы было излюбленной задачей греков, решение которой из-за отсутствия исчисления бесконечно малых требовало особой остроты мышления.

Эта статика достигла своего высшего развития в законе возможных перемещений: образуют произведения сил на пути, пройденные их точками приложения в направлении действия этих сил; движение не наступает, если сумма этих произведений (взятых с правильными знаками) дает в результате нуль. Силы измеряют при этом весами; здесь, таким образом, постоянно имеют дело с действиями тяжести. Частным случаем является закон рычага; другой пример — правило Архимеда, согласно которому на всякое твердое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости. Века потребовались, чтобы приобрести к началу XVII века эти знания. Последний в ряду творцов статики — Симон Стевин (1548—1620), изучая равновесие тел на наклонной плоскости, благодаря гениальной интуиции неявным образом открыл разложение

силы на составляющие, т. е. закон параллелограмма сил.

Схоластика считала непререкаемой истиной рассуждения Аристотеля (384—322 до н. э.) по вопросам механики, но для зарождающейся науки XVI столетия они были только большим препятствием, которое надо было преодолеть, чтобы успешно двигаться вперед.

Галилео Галилей (1564—1642) обосновал динамику, т. е., собственно, учение о движении тел; Христиан Гюйгенс (1629—1695) продолжал развивать динамику, а Исаак Ньютон (1643—1727) придал ей определенную законченную форму (в честь Ньютона обычно называют динамику ньютоновской). Наблюдения Галилея над падением тел с наклонной башни в Пизе начались в 1589 г. В 1638 г. вышло его главное произведение по механике «*Discorsi e Dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove Scienze attenenti alla Mecanica e ai Movimento locali*». «*Philosophiae naturalis principia mathematica*» Ньютона появились в 1687 г. Период создания динамики продолжался, таким образом, одно столетие.

Результат этого величественного творения человеческого духа содержится в двух законах. Первый закон утверждает, что произведение массы материальной точки на ее ускорение равно действующей на нее силе (ускорение и сила являются направленными величинами, векторами, и закон утверждает одинаковое направление для обоих). Вторым законом является закон равенства действия и противодействия: силы, с которыми две массы действуют друг на друга, равны по величине и противоположны по направлению.

Проанализируем формулировки обоих законов. Что такое ускорение — в основном уже объяснил Галилей, когда он простыми математическими средствами исследовал понятие изменяющейся скорости. Ньютон, который располагал созданным им самим и Готфридом Вильгельмом Лейбницем (1646—1716) исчислением бесконечно малых, мог облегчить себе задачу. Ускорение есть изменение скорости в единицу времени, про-

изводная скорости по времени и, следовательно, вторая производная по времени радиуса-вектора, проведенного из любого начала координат к материальной точке. Если известны результаты измерения координат и времени, то скорость и ускорение становятся также известными. Первый закон дает, следовательно, дифференциальное уравнение второго порядка для координат точки как функции времени; его интегрирование определяет путь и скорость, с которой этот путь будет пройден. Если нет никакой силы, ускорение равно нулю; движение происходит прямолинейно с постоянной скоростью, как этого требует закон инерции.

Второй закон показывает, что масса есть «инертная» масса. Если два тела получают взаимные ускорения, то последние по величине обратно пропорциональны их массам. При начальной скорости, равной нулю, скорости и пути, пройденные в одинаковые промежутки времени, также обратно пропорциональны массам. Геометрическое измерение пути позволяет, таким образом, отнести каждую массу к произвольно выбранной единице. Когда ускорения имеют противоположные направления, сумма из произведений массы на скорость остается неизменной; она равна нулю в частном случае, когда оба тела сначала были в покое. В связи с тем, что произведение массы на скорость называется импульсом, можно изложенные законы выразить в форме, принятой в настоящее время:

1) сила равна изменению импульса в единицу времени *);

2) в системе, не подверженной внешним влияниям и состоящей из двух или произвольно большого количества масс, общий импульс является постоянной величиной (закон сохранения импульса).

В этих высказываниях в неявной форме заключается утверждение, что силы, с которыми два тела действуют друг на друга, не нарушаются третьим телом и что масса есть неизменяемое свойство тела.

*) Уже Ньютон пользовался этой формулировкой.

Последнее утверждение принималось механикой с самого начала ее развития, так как взвешивания никогда не обнаруживали изменения массы. Одним из важнейших достижений химии, ставшей наукой в XVIII веке, было установление того, что при химических реакциях общая масса участников реакции остается постоянной. Заслуга установления этого положения принадлежит А. Лавуазье (1743—1794). Позднее, с 1895 по 1906 г., оно было подтверждено особо точными взвешиваниями Ганса Ландольта (1831—1910). В настоящее время мы рассматриваем постоянство массы только как приближение, конечно, совершенно достаточное для механики, химии и многих областей физики.

В опытах, на которых основывается динамика, силы измеряются взвешиванием — способом, применяющимся исстари до сих пор; если силы действовали не строго вертикально вниз, то применяли шнуры на роликах. Таким образом, понятие силы было экспериментально обосновано, и можно было думать, что оно освобождено от всякой таинственности. Но так последовательно не думали ни в XVII, ни в XVIII столетиях. Само значение слова «сила» не было вполне установлено, и нагромождались заблуждение за заблуждением. Поскольку каждому сознательному применению человеком силы предшествует волевой акт, то позади физического понятия силы искали нечто более глубокое, метафизическое, какое-то присущее телам стремление; в случае, например, силы тяжести — стремление соединиться с себе подобным. Нам теперь трудно понять эту точку зрения. Насколько она была тогда распространена даже среди выдающихся умов, показывает спор между картезианцами, с одной стороны, и Лейбницем с его последователями, с другой стороны, о «мере силы, соответствующей природе». Одни считали такой мерой количество движения, порожденное силой в определенный момент времени, другие — то, что теперь называют кинетической энергией, а раньше называлось «живой силой». Ньютон не смог в этом вопросе

иногда спорил... с Ньютоном и с

занять ясной позиции. Уже Даламбер (1717—1783) охарактеризовал бесконечную дискуссию, которая велась по этому поводу, как словесный спор. Но понятие силы для многих оставалось мистическим до тех пор, пока в 1874 г. Г. Р. Кирхгоф (1824—1887) не сказал решающего слова в первом предложении своих «Лекций по механике»: «Механика есть наука о движении; мы считаем ее задачей: описать наиболее полно и просто происходящие в природе движения». Согласно этому вектор, изображающий силу, считают функцией положения материальной точки или времени или обоих вместе. Скорость может быть также включена в определение силы, как это имеет место, например, для сил трения. Поэтому интегрирование ньютоновского уравнения движения является чисто математической задачей, разрешение которой дает ответ на любой обоснованный вопрос о движении. Больше физика ничего не может сделать и ничего больше здесь нельзя от нее требовать. Если читатель поймет слово «описание» как причинное объяснение, то надо ему сказать: объяснение явления природы может состоять только в том, чтобы поставить его в связь с другими явлениями природы посредством известных законов, в результате чего комплекс связанных явлений описывается как целое. Этот взгляд не только проводится в механике, но является в наше время всеобщим.

В период времени от Галилея до Ньютона существовала еще вторая важная линия развития. Евангелиста Торричелли (1608—1647) под влиянием опыта Галилея с всасывающим насосом изобрел в 1643 г. ртутный барометр. Блэз Паскаль (1623—1662) побудил своего зятя Перье сравнить показания барометра на Пюи де Дом и в Клермоне (различие в высоте над уровнем моря примерно 1000 м). Отто Герике (1602—1686) изобрел воздушный насос и объяснил на основе многих очень внушительных опытов природу атмосфер-

ного давления *). Во Введении уже было сказано, что в 1662 г. был известен закон Бойля—Мариотта относительно связи давления и объема воздуха. Другие газы **) не были тогда в распоряжении исследователей; лишь в 1766 г. Генри Кавендиш (1731—1810) открыл кислород, а в 1772 г. Даниил Резерфорд (1749—1819) — азот. Современник Паскаля Роберт Гук (1635—1703) в 1676 г. показал на простых примерах пропорциональность между деформацией и упругостью у твердых тел. Так к 1700 г. был заложен физический фундамент, на котором в следующие полтора столетия было воздвигнуто величественное здание механики. Характерная для механики точность связана с тем, что она развивалась преимущественно силами математиков. В XVIII столетии здесь преобладали французы. Действительно, ньютоновские идеи распространились прежде всего во Франции, не только среди специалистов, но в значительно более широких слоях. Этому способствовал особенно Вольтер. Здесь мы имеем хороший пример влияния физики на общее духовное развитие и поэтому также на политику.

Наиболее выдающимися математиками были: Даниил Бернулли (1700—1782) и Леонард Эйлер (1707—1783), которые занимались системами многих материальных точек, твердыми телами и гидродинамикой; Жан Даламбер (1717—1783) — автор названного по его имени принципа, заменяющего уравнения движения; Жозеф Луи Лагранж (1736—1813), придавший этим дифференциальным уравнениям особенно удобную форму для сложных случаев; Пьер Симон Лаплас (1749—1827), который опубликовал в 1800 г. пятитом-

*) «Магдебургские полушария» демонстрировались в 1656 г. Но лишь в 1663 г. Герике написал резюмирующее сообщение о своих опытах, которое появилось в 1672 г. под названием «Новые магдебургские опыты над пустым пространством».

**) Слово «газ» встречается в 1640 г. у голландского химика и врача Гельмонта. Повидимому, в основе его лежит употребленное Парацельсом (1493—1541) слово «хаос» для «смеси воздуха».

ную «Небесную механику», содержащую гораздо больше, чем обещает название, между прочим, теорию волн в жидкости и теорию капиллярности. Так наступил блестящий расцвет аналитической механики. Дальше надо упомянуть Луи Пуансо (1777—1859), который развил механику твердого тела; Гаспара Гюстава Кориолиса (1792—1843), изучавшего влияние вращения Земли на происходящие на ней механические явления; Огюстена Луи Коши (1789—1857), давшего в 1822 г. наиболее общую математическую формулировку важных понятий деформации и упругого напряжения; исходя из закона Гука, он математически развил механику деформируемых тел, придав ей законченную форму. Вильям Роуэн Гамильтон (1805—1865) установил принцип наименьшего действия, к которому мы еще вернемся. Карл Густав Якоб Якоби (1804—1851) нашел метод исследования движения системы многих тел с помощью дифференциального уравнения Гамильтона—Якоби. Эту эпоху можно считать в основном законченной после исследований Жана Леона Пуазейля (1799—1869) о внутреннем трении в жидкостях и газах (1846—1847) и установления Гельмгольцем законов вихревого движения. Однако вплоть до современности над динамикой вязких жидкостей и газов продолжали работать выдающиеся исследователи, например, Рэлей (1842—1919), Осборн Рейнольдс (1842—1912) и Л. Прандтль; их целью было прежде всего создание водного и воздушного транспорта. В этих работах существенную роль играет различие между упорядоченными («ламинарными») и неупорядоченными («турбулентными») потоками. Если в настоящее время ограничиваются только экспериментами, иногда требующими больших средств, то это происходит потому, что еще не разрешены соответствующие проблемы, поставленные перед современной математикой. Но никто не ожидал при этом результатов, которые выходили бы за пределы основ ньютоновской механики.

Мы остановимся здесь только на двух результатах развития механики после Ньютона.

Со времен Эйлера математики установили вариационные принципы, которые были равноценны уравнениям движения, можно даже сказать — содержали их в себе. Пьер Луи Моро де Мопертюи (1698—1759) с большой страстностью провозгласил подобный принцип, названный по его имени, но лишь Лагранж дал ему правильное толкование. Известнее всего принцип наименьшего действия Гамильтона, который в 1886 г. Герман Гельмгольц распространил на ряд немеханических явлений. Макс Планк (1858—1947) видел в нем наиболее общий закон природы. Этот принцип заключается в том, что интеграл по времени, взятый от разности кинетической и потенциальной энергии между двумя определенными моментами времени, для действительного движения является минимальным по сравнению с любым другим мыслимым движением, которое вело бы от того же начального к тому же конечному состоянию. Когда такого рода принципы выдвигались в XVIII столетии, то они производили большую сенсацию. В самом деле, дифференциальные уравнения движения определяют явление в определенный момент времени из непосредственно предшествовавшего движения, как это соответствует причинному воззрению на природу. В этих принципах, напротив, все движение за конечный промежуток времени рассматривается так, как будто будущее определяет настоящее. Казалось, что в физику вошел телеологический момент, и мечтательные умы думали даже, что они смогут узреть здесь творца с его мировым планом, согласно которому фигурирующие в этих принципах величины должны иметь минимальное значение. Идея Лейбница о «лучшем из всех возможных миров» в некоторой мере согласовалась с этой фантазией.

Но в основе здесь лежало математическое заблуждение. Впоследствии научная критика установила, что хотя эти величины для действительного движения имеют экстремальное значение, однако оно не обяза-

тельно является минимальным. Вскоре увидели также, что можно применить вариационные принципы и к другим дифференциальным уравнениям, а не только к уравнениям механики. Тем самым принцип наименьшего действия и ему подобные были поставлены на соответствующее им место очень ценных математических вспомогательных средств.

Вторым гораздо более важным пунктом, который мы хотим упомянуть, является закон сохранения энергии, который уже внутри механики имел свою историю, прежде чем вышел из ее рамок и был сформулирован в виде универсального закона. Мы отложим его детальное рассмотрение до главы 8.

В. Р. Гамильтон, который играл важную роль также в геометрической оптике, указал на математическую аналогию между этой дисциплиной и механикой. Лучи света и траектории материальной точки соответствуют друг другу настолько хорошо, что возможно объединить траектории всех материальных точек, выходящих с одинаковыми скоростями из одной и той же точки, в одном «фокусе» и тем самым механически получить «оптическое» изображение. Это, однако, оставалось невыполненным до тех пор, пока не были открыты электроны — частицы, у которых электрические силы значительно превосходят силу тяжести. Современный электронный микроскоп, по крайней мере его электростатический вариант *), есть осуществление мысли Гамильтона.

Созданная Эйнштейном в 1905 г. теория относительности мало изменяет динамику материальной точки, как это показал М. Планк в 1906 г. (основополагающая работа Эйнштейна в этом пункте неправильна).

*) Существует также магнитный электронный микроскоп, который основан на других принципах.

Одной из характерных черт этой теории является введение универсальной константы, скорости света, механическое значение которой прежде было неизвестно. Остается попрежнему в силе закон, устанавливающий равенство силы изменению импульса в единицу времени, а также закон сохранения импульса замкнутой системы. Как и прежде, отсюда вытекает закон сохранения энергии; изменяются только связи импульса и энергии со скоростью. Это изменение заметно также только для скоростей порядка скорости света; при этом импульс и энергия по мере приближения к этим скоростям возрастают бесконечно, так что никакое тело никогда не может достигнуть скорости света. Она — недостижимая высшая граница для скоростей любых частиц. При радиоактивном распаде известны скорости электронов, достигающие 99% скорости света и больше, но никогда в эксперименте не была обнаружена сверхсветовая скорость. Правильность релятивистской формулы для импульса доказали многочисленные измерения скорости быстрых электронов в период с 1906 по 1910 г. [Вальтер Кауфман (1871—1947), Альфред Генрих Бухерер (1863—1927), Шарль Эжен Гие (1866—1942) и С. Ратновский (1884—1945)].

Принципиально еще важнее изменение понятия массы, к которому приводит эта теория. Эйнштейн в 1905 г. доказал, что всякое увеличение внутренней энергии должно увеличивать массу, а именно на величину, которая получается делением энергии, измеренной механической мерой, на квадрат скорости света. Но эти изменения массы в силу большой величины скорости света ($3 \cdot 10^{10}$ см/сек) незначительны для всех явлений, которые мы называем механическими, электрическими и термическими. Точно так же при химических реакциях с наибольшими тепловыми эффектами взвешивание не может доказать изменения общей массы реагирующих тел. Но в ядерной физике этот закон инертности энергии получает огромное значение (гл. 10).

Что дает классическая механика? Исключительно много. Она дает основы для всякой технической конструкции, поскольку последняя является механической, и тем самым глубоко проникает в обыденную жизнь; она находит применение в биологических науках, например как механика движения тела или механика слуха. Она содержит учение о деформации упругих твердых тел, о течении жидкостей, о возможных во всех подобных телах упругих колебаниях и волнах, т. е. содержит также физическую акустику. Она привела, например, к теории вынужденных колебаний, значение которой выходит далеко за пределы механики; механика является также основой для понимания электрических колебаний.

Механика описывает в совершенном согласии с опытом процессы движения звезд с массой 10^{32} — 10^{33} г и движение ультрамикроскопических частиц с массой 10^{-18} г; она сохраняет свое значение для части наших опытов, касающихся движения молекул, атомов и еще более мелких элементарных частиц (электрон и т. д.). Поэтому она стала основой кинетической теории газов и физической статистики Больцмана—Гиббса. Так механика превратилась в храм величественной архитектуры и поразительной красоты.

Замечательно то, что долгое время механика отождествлялась со всей физикой; цель физики усматривали в сведении всех явлений к механике. И даже после того, как в 1900 г. увидели, что электродинамика не сводится к механике, многие ошибочно считали механику наукой, стоящей над опытом подобно математике.

Еще более глубокое потрясение механика испытала, когда квантовая теория с 1900 г. все яснее определяла границы ее значимости. Но даже там, где квантовая теория вытесняет механику, она оставляет неизменными два закона: сохранение энергии и импульса.

Попутно упомянем еще об одном достижении, которое, хотя и имеет более внешний характер, все же имело для физики очень большое значение. 2 июня 1799 г. Законодательное собрание в Париже приняло килограмм за единицу массы, а метр — за единицу длины. Вместе с более старой единицей времени, секундой, эти единицы явились исходным пунктом для CGS-системы (система сантиметр — грамм — секунда), к которой современная физика приводит все механические, электрические и магнитные единицы.

Акустика образует ветвь механики, которая, однако, особенно сначала, развивалась довольно самостоятельно. Уже в древности знали, что чистые тона в противоположность шумам основаны на периодических колебаниях источника звука. Пифагор (570—496 до н. э.) знал, кроме того, может быть из египетских источников, что длины струн, которые настроены на гармонические интервалы — октавы, квинты и т. д., при прочих одинаковых условиях относятся между собой, как 1 : 2, 2 : 3 и т. д. Значение, которое пифагорейцы приписывали числам в своей философии, связано, несомненно, с глубоким впечатлением, которое на них произвело это открытие. Изобретатели органов, широко распространившихся в IX столетии н. э., знали соответствующее правило у органных труб. Но акустическая наука в явной форме еще не участвовала в развитии музыкального искусства в течение двух тысячелетий после Пифагора. Лишь Галилей дал также и здесь решающий толчок для дальнейшего. В упомянутых «Discorsi» 1638 г. он устанавливает частоту как физический коррелят ощущения высоты тона. Он характеризует относительную высоту двух звуков посредством отношения их частот и выводит зависимость частоты колебаний струны от длины, напряжения и массы. Он наблюдал возбуждение колебаний посредством резонанса и объяснил это явление; он также показал осо-

бенность стоячих волн на поверхности воды в сосудах, производя колебания посредством трения. Еще дальше пошел его бывший ученик Марен Мерсенн (1588—1648): ему удалось почти в то же время, а именно в 1636 г., дать первое абсолютное определение числа колебаний, измерить скорость звука в воздухе, а также открыть, что струна в большинстве случаев одновременно с основным тоном дает еще гармонические обертоны. Жозеф Совер (1653—1716) сделал те же наблюдения над органами трубами, изучил сущность биений, а также установил на струнах положение узлов и пучностей посредством еще теперь применяемого бумажного «наездника».

Отто Герике доказал экспериментально, что звук, в отличие от света, распространяется не в пустом пространстве. Зависимость скорости звука от сжимаемости и плотности воздуха определил Ньютон в своих «Принципах», хотя его формула была подтверждена опытом лишь тогда, когда в 1826 г. Лаплас заменил изотермическое сжатие адиабатическим. Математическая обработка механики в XVIII столетии была полезна также для акустики. Выдающийся экспериментатор Эрнст Фридрих Хладни (1756—1827) в 1802 г. противопоставил давно известным поперечным колебаниям струн и стержней продольные и крутильные колебания, сделал видимыми в своих «звуковых фигурах» узловые линии колеблющихся пластинок и измерил скорость звука не только в воздухе, но и в других газах. Проводимость звука жидкостями долгое время оспаривалась из-за мнимой их несжимаемости, несмотря на прямое наблюдение, сделанное в 1762 г. Вениамином Франклином (1706—1790). Но в 1827 г. Жан Даниэль Колладон (1802—1892) и Якоб Франц Штурм (1803—1855) дали убедительное доказательство распространения звука в воде, определив скорость звука в Женевском озере и найдя ее равной $1,435 \cdot 10^5$ см/сек.

В дальнейшем в течение XIX столетия физическая акустика все больше превращалась в учение об упругих волнах. Из оптики в нее были введены идеи интерференции, дифракции и рассеяния на препятствиях. Принцип Дюпюлера, возникший в 1842 г. как оптическая идея (гл. 6), нашел свое первое подтверждение в изменениях высоты тонов, которые воспринимаются, например, в момент, когда свистящий паровоз, пройдя мимо, начинает удаляться. Аналитический метод Фурье (гл. 7), созданный первоначально для решения проблемы теплопроводности, применялся с огромным успехом для изучения звуковых волн, тем более, что разложение любого периодического колебания на колебания синусоидальные соответствует непосредственной психологической реальности; как установил в 1843 г. Симон Ом (1787—1854), ухо может воспринять эти колебания в отдельности. Если же это не удастся из-за врожденной недостаточности или недостаточного упражнения, то эти синусоидальные колебания определяют тембр звучания в смеси тонов, как это подчеркнул Гельмгольц в своем «Учении о звуковых ощущениях» (1862).

Большие технические задачи встали перед акустикой после того, как в 1861 г. Филипп Рейс (1834—1874) и в 1875 г. Александр Грехем Белл (1847—1922) изобрели телефон, а в 1878 г. Давид Юз (1831—1900) существенно улучшил микрофон Рейса. После этого возникла возможность более совершенной передачи человеческих голосов и музыкальных звуков. Передача звука электрическими волнами, плод мировой войны 1914—1918 гг., значительно усилила роль этой новой области технического применения — электроакустики. К этой же области относится фонограф, изобретенный в 1877 г. Томасом Альва Эдисоном (1847—1931).

Во время той же войны Поль Ланжевен (1872—1946), используя пластинки пьезокварца, нашел способ получения в воде звуковых волн с числом колебаний

высокого порядка — 100 000 в секунду, следовательно, далеко за пределами слышимости. Этот «ультразвук» должен был служить для нахождения подводных лодок под морской поверхностью. Физика применила его впоследствии для изучения собственных колебаний твердых тел, для измерения скорости звука в газах и жидкостях в зависимости от числа колебаний и в других случаях. Известную роль он играет также в биологии.





ГЛАВА 3

ГРАВИТАЦИЯ И ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ

Исследование гравитации было теснейшим образом связано с возникновением механики. Эта проблема с глубокой древности занимает человеческий ум. Если оставить в стороне атомистику, то, пожалуй, можно сказать, что ни с одним вопросом физики не было связано столько спекуляций, сколько с вопросом о причинах силы тяжести. Тем, что мы действительно об этом знаем, мы обязаны людям, которые ограничивались вопросом: как она действует? Дальше всех здесь пошел Галилео Галилей (1564—1642), который просто допустил, что вблизи земной поверхности тела получают постоянное ускорение, направленное вертикально вниз. Этого было достаточно для вывода его законов падения. Сюда относится также знаменитое ньютоновское «*Hypotheses non fingo*» в конце его «*Principia*». Но оба придавали величайшее значение тому, что все тела испытывают одинаковое ускорение, и проверяли это не только в случае свободного падения, но также тогда, когда устанавливали независимость периода маятника от природы колеблющегося тела. Единственно мыслимой противоположностью этого является представление о том, что сила тяжести пропорциональна «тяжелой массе», отличной от инертной массы. Равенство обеих масс является одной из замечательных черт теории тяготения.

Мысль о том, что тяготение не ограничивается частью пространства вблизи Земли, но представляет собой всеобщее свойство материи и действует также ме-

жду небесными телами, довольно стара. Можно указать на наличие предчувствия этого, например, у Николая Коперника (1473—1543) и Р. Гука. Большим уважением пользовалось в течение XVII столетия — и даже у некоторых людей до конца XVIII столетия — учение великого философа Рене Декарта (1596—1650), который не признавал пустого пространства, считая его «*contradictio in adjecto*», представлял себе межзвездное пространство наполненным жидкостью, находящейся в вихревом движении и увлекающей за собой плавающие в ней планеты. Ньютон посвятил значительную часть своих «Принципов» гидродинамическому опровержению этой теории.

Когда мы спрашиваем о происхождении закона тяготения, названного по имени Ньютона (сила тяготения пропорциональна массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними), то мы можем назвать следующую плеяду ученых: Тихо Браге (1546—1601), которому мы обязаны точными, последовательно проведенными сериями наблюдений над положениями планет; Иоганн Кеплер (1571—1630), который вывел отсюда три названных по его имени закона (эллиптический характер траекторий, равенство площадей, описанных в равные времена радиусом-вектором, и «квадраты времен обращения относятся как кубы больших осей»); он уже, разумеется, как и другие его современники, предполагал уменьшение силы с квадратом расстояния. Наконец, Исаак Ньютон (1643—1727), который доказал этот закон, вычислив на его основе ускорение силы тяжести на земной поверхности и ускорение, которое испытывает Луна; кроме того, он математически вывел законы Кеплера из закона тяготения и своего общего закона движения. Закон по праву носит его имя. Никто из его предшественников не мог математически вывести законы Кеплера и исследовать небольшие отклонения, вызываемые взаимными возмущениями планет, объяснить аномалии движения Луны и сделать понятной их связь с приливами и отливами. Впечатление, которое произвели исследования

Ньютона на современников, было огромным. И это вполне понятно. Ведь раньше положения планет считались непосредственным изъяснением божьей воли, а это открытие одним ударом устранило столь почитаемую прежде астрологию. Ничто так не укрепило уважения к молодой физике, как вычисление Ньютоном путей планет. С тех пор естествознание стало огромной духовной силой, которую никакая другая сила не могла безнаказанно игнорировать.

Закон Ньютона означал полный переворот также в понимании системы неподвижных звезд. От Аристотеля до Кеплера включительно, за исключением, правда, Джордано Бруно, который был слишком фантазером, чтобы можно было его считать ученым (см. гл. 6), звезды считались прикрепленными к сфере, в центре которой находилось Солнце. За этим тонким сферическим слоем не предполагалось ничего, даже пространства. Еще Кеплер отказался рассматривать Солнце как одну из многих неподвижных звезд. Теперь стало ясно, что система звезд вообще не является чем-то статичным, а образует динамическую совокупность, скрепленную притяжением, но подчиненную внутреннему движению, а следовательно, изменению. Тотчас же выступили вопросы о различных расстояниях между звездами, о собственном движении звезд на небесном своде. Эти вопросы смогли быть решены успешно лишь в более позднее время, но все же учение о безграничном мировом пространстве со множеством планетных систем и взгляд на Солнце как на звезду были необходимыми следствиями открытия Ньютона.

Закон тяготения содержит множитель пропорциональности — постоянную гравитации; она выражает силу, с которой две массы в 1 г притягиваются на расстоянии в 1 см. Астрономия смогла теперь сравнить между собой массы различных небесных тел, но она не смогла определить эту константу. Необходимый для

этого опыт провел в 1798 г. Генри Кавендиш (1731—1810) при помощи крутильных весов, уже использованных в 1785 г. Кулоном (гл. 5) для электрических измерений. Гравитационная постоянная имеет значение $6,7 \cdot 10^{-8} \text{ г}^{-1} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{сек}^{-2}$. Масса Земли, вычисленная отсюда, равна $6 \cdot 10^{27} \text{ г}$.

Попутно упомянем о том, что в 1777 г. в добавление к закону тяготения Жозеф Луи Лагранж (1736—1813) ввел понятие потенциала, градиент которого дает силу тяготения; Лаплас (1749—1827) в 1782 г. вывел для этой функции координат дифференциальное уравнение в частных производных: $\Delta\varphi = 0$, названное его именем. Симеон Пуассон (1781—1840) в 1812 г. изменил его, чтобы применить к изучению строения материи. Это были важные предпосылки для теории потенциала в электростатике (гл. 5). Дифференциальное уравнение Лапласа—Пуассона является обобщенным выражением ньютоновского закона тяготения. Оно следует из него и ведет к нему опять обратно, когда применяется к материальным точкам (или к однородным шарам).

Закон тяготения обосновал теоретическую астрономию. Ее важнейшая задача — вычисление возмущений траекторий планет вследствие взаимного притяжения планет — еще до сих пор занимает внимание астрономов и математиков. Механика отчасти развила здесь свои математические методы. Вехой на ее пути была уже упомянутая «Небесная механика» Лапласа (появившаяся в 1800 г.). Насколько хорошо при этом оправдывается закон тяготения, поразительнее всего показали открытия самых крайних планет, Нептуна и Плутона, местонахождения которых были вычислены до наблюдения самих планет по возмущениям в траекториях более близких внутренних планет. Нептун был обнаружен в 1846 г. Йоганном Годфридом Галле (1812—1910) по вычислениям Юрбена Жозефа Леверье

(1811—1877), Плутон — в 1930 г. по вычислениям Персиваля Лоуэлла (1855—1916) в названной по его имени обсерватории во Флагстаффе (Аризона). Теперь оставалось только объяснить одно незначительное расхождение. Вследствие отклонений путей планет от эллиптической формы медленно вращается в плоскости орбиты перигелий, точка кратчайшего расстояния от Солнца. Теория возмущений объясняет это в количественном согласии с опытом для всех планет, за исключением самой близкой к Солнцу — Меркурия; здесь оставалось необъясненной разница в 42 угловые секунды в столетие. Общая теория относительности Эйнштейна (1913 г. и позже) объяснила это в 1916 г. как следствие искривления пространства, которое связано, согласно этой теории, со всяким полем тяготения, однако заметно только вблизи тела такой значительной массы, как Солнце. Исходя из величины массы Солнца, гравитационной постоянной и расстояния между Меркурием и Солнцем, неизбежно получали именно 42 секунды. Это является одной из трех эмпирических опор этой гениальной, но еще не вполне подтвержденной теории (см. гл. 6).

Закон тяготения Ньютона, буквально понятый, утверждает непосредственное дальное действие. Последнее возбуждало во все времена, а также и в эпоху Ньютона сомнения, и он сам отнюдь не вполне отказывался от них. Вышеупомянутые спекуляции о причинах тяготения возникали многократно в связи со стремлением разыскать передаточный механизм для тяготения. Несмотря на это, идея дального действия под огромным влиянием ньютоновского открытия распространилась на другие области физики. Вероятно, сыграло роль также то, что из нее можно вывести простую и изящную теорию потенциала. В то время как механика деформируемых тел имела дело исключительно с близкодействием, первые теории электриче-

ских и магнитных явлений были теориями дальнего действия. Перелом впервые произошел во второй половине XIX столетия под влиянием Михаила Фарадея (1791—1867) и Максвелла (1831—1879) и глубоко проник в физику после открытия в 1887 г. Генрихом Герцем (1857—1894) электрических волн, распространяющихся со скоростью света. Вместе с тем потеряло основу дальнее действие в гравитации, особенно после того, как специальная теория относительности указала, что скорость света является верхней границей для скоростей распространения всех физических действий. Согласно общей теории относительности (1913 г. и позже) распространение тяготения происходит также со скоростью света. Эта теория утверждает существование гравитационных волн, но возбуждение их с интенсивностью, достаточной для наблюдения, невозможно из-за непреодоленных экспериментальных трудностей. Закон тяготения Ньютона остается в силе как приближение.

Забавной иллюстрацией подавляющего влияния ньютоновских идей является тот факт, что наука XVIII столетия относила метеориты к области басен, хотя в седой древности были многочисленные свидетельства их существования. Хаотическое падение камней и железных масс «с неба» казалось эпигонам Ньютона несовместимым с обнаруженным учителем космическим порядком. Лишь в 1794 г. Эрнст Фридрих Хладни (1756—1827) как ученый юрист критически сопоставил множество высказываний свидетелей и на основании полного согласия независимо друг от друга данных показаний пришел к выводу о реальности наблюдаемых явлений. Когда затем в 1803 г. поблизости от Лэгля (департамент Орн, Франция) упало большое количество метеоритов и Жан Батист Био (1774—1862) смог их исследовать, Парижская

Академия была вынуждена отказаться от своей предвзятой точки зрения. Но существовало еще гораздо больше вещей между небом и Землей, чем позволяла себе мечтать школьная мудрость *).

*) «Гамлет прав в этом своем изречении; но существует также в школьной мудрости много вещей, следа которых нельзя найти между небом и Землей». Этот сарказм приписывают остроумному геттингенскому физику Георгу Христофору Лихтенбергу (1742—1799).





ГЛАВА 4

ОПТИКА

Оптика немного моложе, чем механика. Знание прямолинейного распространения света и понятие «луча» — древнего происхождения. Отражение и преломление также были предметом размышления уже в древности; уже тогда знали отражение вогнутым зеркалом и линзами. Роджер Бэкон (1214—1294) описал положение фокуса и обратил внимание на неточность соединения лучей света в изображении точечного источника света. Очки, повидимому, были изобретены флорентинцем Сальвино Армати в 1299 г. Закон, определяющий направление отраженного луча, принадлежит к еще более древним знаниям неизвестного происхождения. Указывают на двух авторов закона преломления: Вилброрд Снел, иначе Снеллиус (1591—1626), который, по свидетельству Гюйгенса, открыл этот закон на основе измерений, и Рене Декарт (1596—1650), который вывел этот закон из своего корпускулярного воззрения. Кеплер не вполне справился с этим; его формула имеет значение только как приближение для малого угла падения, однако она была достаточной для установления вполне применимой теории телескопа. С установлением законов отражения и преломления были полностью заложены физические основы геометрической оптики, дальнейшее развитие которой большей частью было делом рук математиков и практиков приборостроения. Такие люди, как Гамильтон и Гаусс (1777—1855), принимали участие в ее развитии, но, несмотря на все старания и остроумие, она до сих пор не получила

завершенного вида. Границы ее применимости ставятся волновой природой света; в микроскопе эти границы выражаются в том, что он не дает четких изображений двух точек, расположенных на расстоянии меньшем, чем 10^{-5} см, как это показали в 1874 г. Эрнст Аббе (1840—1905) и Герман Гельмгольц (1821—1894). Правда, эта граница снижается при применении коротковолнового ультрафиолетового света, а при помощи рентгеновских лучей, как это известно с 1912 г., можно оптически воспринять даже расстояния между атомами в твердых телах, имеющие порядок величины 10^{-8} см (гл. 12).

Большую трудность представляло для старой оптики объяснение цветов. Вторым великим деянием Исаака Ньютона было данное им в 1672 г. доказательство того, что белый свет состоит из света различных цветов и, следовательно, цветной свет имеет более простую природу, чем белый. Ничто так ярко не иллюстрирует значение этого открытия, как страстный протест против него со стороны Гете (1791—1792 и 1810). Гете ссылаясь на тот факт, что глаз воспринимает белый цвет как единство, в отличие от уха, которое гармонически анализирует колебания. Ньютон был вынужден заняться призмой в связи с хроматической аберрацией оптических инструментов, которую он считал неизбежной. С этим связана его конструкция зеркального телескопа (1672), в котором эта аберрация была полностью устранена. Этой точки зрения придерживались также его последователи до тех пор, пока в 1753 г. Джон Доллонд (1706—1761) не сконструировал ахроматический объектив телескопа с помощью стекол различных сортов. В 1800 г. Фридрих Вильгельм Гершель (1738—1822) указал, что границы спектра не совпадают с границами видимого света и что за красным цветом находится излучение менее преломляемое, но обнаруживаемое благодаря тепловому действию. Спустя год за фиолетовой частью спектра Иоганн Виль-

гельм Риттер (1776—1810), а также Вильям Гайд Волластон (1766—1828) обнаружили химически действующее излучение.

Проблема измерения континуума различных видов световых лучей, разделяемых призмой сообразно их природе, представляет собой проблему, аналогичную измерению времени (гл. 1). Слова «красный», «желтый» и т. д. внутри этого континуума являются слишком неточными и субъективными вехами, изменчивыми в зависимости от того или другого воспринимающего лица. Поэтому значительным шагом вперед было открытие в 1814—1815 гг. Иозефом Фраунгофером названных по его имени темных линий в солнечном спектре (он присоединил к призме спереди коллиматор, а сзади телескоп). Фраунгофер использовал эти линии как метки и смог точно измерить показатель преломления, приписав каждой линии соответствующее значение. В настоящее время так же поступают для различных технических целей. Но поставленная проблема была решена лишь в 1821—1822 гг., когда Фраунгофер получил диффракцию на решетке и Магнус Шверд (1792—1871) объяснил это явление на основе волновой теории (1835 г.). С этого времени стали измерять длину волны любого вида света по известным углу диффракции и постоянной решетки с относительной точностью до 10^{-7} . Именно с этого времени существует спектроскопия с ее огромным значением для науки и техники. Так, например, измерения Пашеном (1865—1947) длин волн для линий водорода и гелия и особенно опирающееся на эти измерения точное определение константы Ридберга имели решающее значение для атомной модели Бора (гл. 14).

Другим дискуссионным вопросом в XVII столетии был вопрос о том, конечна ли скорость света или нет. Декарт ее отрицал, Галилей утверждал, оба без опытного обоснования. Для экспериментального решения

этой проблемы не было тогда достаточно средств. Однако из наблюдений повторяющихся часто, но не строго периодически, затмений одного из спутников Юпитера Олаф Рёмер (1644—1710) вывел в 1676 г. знаменитое заключение о том, что скорость света в пустом пространстве равна $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Наблюдения Джемса Брэдли (1693—1762) над абберацией доставили в 1728 г., несмотря на сомнения картезианцев, долгожданное подтверждение того, что эта скорость в 10^4 раз больше скорости движения Земли вокруг Солнца. Экспериментальные измерения сделаны были впервые в 1849 г. Арманом Физо (1819—1896) при помощи вращающегося зубчатого колеса и в 1862 г. Леоном Фуко (1819—1868) посредством вращающегося зеркала. Эти измерения были повторены еще многими физиками, большей частью теми же самыми методами. Новейшее определение Альберта Абрагама Майкельсона (1852—1931), произведенное в 1925—1926 гг. на расстоянии 70 км от вершины Вильсона до вершины Антонио (Калифорния) и обратно, дало значение $2,99796 \cdot 10^{10}$ см/сек при вероятной ошибке в $4 \cdot 10^5$ см/сек.

Для теории света решающими были открытия интерференции, диффракции и поляризации. Первые наблюдения сделаны Франческо Гримальди (1618—1663), который в появившейся посмертно работе 1665 г. подробно описывает диффракцию на стержне и решетке. Но эти наблюдения, повторенные Ньютоном, остались без влияния на дальнейшее развитие. То же относится к открытию Робертом Бойлем (1627—1691) цветных колец в тонких слоях (1663) — колец, которые носят имя Ньютона, так как он первый исследовал зависимость цвета колец от толщины слоя. Ньютон высказался за корпускулярную теорию истечения света, правда, с некоторой сдержанностью, так как он явно придавал больше значения результатам своих опытов, чем их объяснению. В предисловии к своей

«Оптика» он так же отклоняет гипотезы, как в заключении к «Принципам». Но за эту теорию крепко ухватились его эпигоны, и она продержалась до XIX столетия. Например, Жан Батист Био (1774—1862) не сразу присоединился к волновой теории, хотя он ближайшим образом соприкасался с ее развитием. Робко уже Гримальди, а более определенно Роберт Гук (1635—1703) занимались волновой теорией. Однако датировать ее надо лишь со времени появления «Трактата о свете», представленного Христианом Гюйгенсом (1629—1695) в Парижскую Академию в 1678 г. и опубликованного в 1690 г. Из представления о движении продольных волн он вывел посредством построения огибающих прямолинейное распространение света, а также законы отражения и преломления. Последний закон он установил не только для изотропных тел, но также для исландского шпата, двойное преломление которого он объяснил из образования двух волн, причем одна из них шарообразна, как в изотропных телах, а другая представляет собой эллипсоид вращения. О спектральном разложении света работа умалчивается.

В противоположность механике, в теории света в XVIII столетии был некоторый застой. «Героическая» эпоха волновой теории началась в 1800 г. и продолжалась до 1835 г. Развитие ее наблюдалось преимущественно в Англии и Франции. В 1801 г. выступил Томас Юнг (1773—1829) со своей идеей интерференции и объяснил на ее основе, как известно, ньютоновские кольца. Отсюда он первый получил приблизительные численные значения длин волн света. Он также показал различие между когерентными лучами, возникающими из одного источника света, и некогерентными лучами. Он применил эту идею к объяснению дифракции, которую рассматривал как интерференцию между светом, проходящим непосредственно через дифракционную щель, и краевыми волнами; к этому мы еще возвратимся. В 1809 г. Этьен Луи Малюс (1775—1812) открыл поляризацию, которую сам исследователь считал опровержением волновой теории. Действительно,

она несовместима с продольными волнами, о которых говорится в трактате Гюйгенса. В дополнение к этому в 1811 г. Доминик Франсуа Араго (1786—1853) описал явления цветов, наблюдаемые в кристаллах в поляризованном свете. В 1817 г. Юнг высказался в пользу поперечности волн света, несмотря на то, что подобное представление противоречило обычным воззрениям. В 1815 г. начал свою (увы, столь короткую!) научную деятельность гениальный Огюстен Жан Френель (1788—1827). Благодаря ему физика получила, кроме многих новых наблюдений над интерференцией и диффракцией, также теорию диффракции в форме построения зон (1818). Эта теория связывала принцип огибающих Гюйгенса с идеей интерференции. Френель и Араго (1819) показали, что лучи, поляризованные перпендикулярно друг к другу, не интерferируют, и окончательно укрепили положение теории поперечных колебаний. Кристаллооптика Френеля, объясняющая опыты Араго, сохранила свое значение до наших дней. И наконец в этот же период времени, в 1821—1822 гг., Фраунгофер произвел опыты по диффракции, отличающиеся от опытов Френеля, теоретически более простые, чем опыты Френеля. В 1835 г. их в некотором смысле завершил Шверд своим резюмирующим сочинением «Явления диффракции, аналитически развитые из основных законов волновой теории».

Идея интерференции, согласно которой налагающиеся волны, в противоположность корпускулярным лучам, не обязательно усиливаются, а могут также ослабляться до полного уничтожения, принадлежит с тех пор к числу ценнейших вкладов в физику. Когда встречается неизвестный вид излучения, всегда стараются получить интерференцию; если это удастся, то тем самым доказывается его волновой характер.

Итак, было установлено, что свет является поперечным волновым движением. С течением времени по мере совершенствования экспериментального иску-

ства все увеличивалось количество интерференционных аппаратов и опытов и все повышалась точность измерения. Македонио Меллони (1797—1854) в 1834 г. показал, что инфракрасное излучение в опытах с отражением, преломлением и поглощением ведет себя так же, как свет. Карл Герман Кноблаух (1820—1895) с помощью опытов по интерференции, диффракции и поляризации показал в 1846 г., что оно отличается от света только большей длиной волны. Генрих Мюллер (1809—1875) применил в 1856 г. новое искусство фотографирования к коротковолновому ультрафиолетовому излучению.

Знание спектра значительно расширилось в ноябре 1895 г. благодаря выдающемуся открытию Вильгельма Конрада Рентгена (1845—1923). Непосредственно вслед за этим открытием в 1896 г. Эмиль Вихерт (1861—1928) и Габриэль Стокс (1819—1903) заключили из способа возникновения рентгеновских лучей, что они являются световым излучением с очень короткой волной. Этот вывод полностью подтвердили в опытах по поляризации Ч. Г. Баркла и в опытах по интерференции в атомных пространственных решетках кристаллов В. Фридрих и П. Книппинг (1883—1935). Длина волны рентгеновских лучей колеблется между 10^{-7} и 10^{-9} см. В 1949 г. Дж. Дюмонд с помощью тех же методов расширил оптику до гамма-лучей, имеющих длину волны еще более короткую, чем рентгеновские лучи.

Сделала успехи и теория. Прежде всего получила поразительное подтверждение идея Юнга о краевых волнах при диффракции, когда в 1883 г. Георг Ги (1854—1926) и в 1885 г. Вильгельм Вин (1864—1928) увидели их непосредственно при диффракции света под большим углом; до тех пор они наблюдались только вблизи границы тени. Созданная Френелем гениальная теория зон была в 1883 г. обобщена в математической волновой теории Г. Р. Кирхгофа, а в 1917 г. его дело продолжил А. Рубинович, который математически доказал, например, тождество взглядов Юнга и Френеля

на явления диффракции. Но во всех этих исследованиях вынуждены были пользоваться приближенными способами. Лишь А. Зоммерфельд в 1894 г., математически строго исследовав диффракцию на прямолинейном крае, доказал правомерность этих приближений.

Колебания света рассматривались сначала (как могло быть иначе?) как упругие волны, подобные поперечным колебаниям в твердых телах. Среду, которая должна была переносить их через пустое пространство, называли эфиром. Со времени получения Е. Торричелли и О. Герике (гл. 2) безвоздушного пространства стали думать, что свет, в отличие от звука, не нуждается в материи для своего распространения. Правда, было трудно объяснить, почему в эфире имеют место поперечные, а не продольные волны. В жидкостях и газах возможны только продольные, но не поперечные колебания. Никакая теория упругости не может объяснить появление поперечных волн в подобных средах. Проблема отражения и преломления также не находила полного математического решения. Но вот в 1865 г. Дж. К. Максвелл (1831—1879) вывел из своей теории электричества и магнетизма (гл. 5) математическое заключение о возможности электромагнитных волн, которые распространяются со скоростью света, и тотчас же занялся светом как примером таких волн. Электромагнитная теория света удовлетворяла опыту лучше, чем упругая, поскольку она допускает только поперечные волны и сводит трудности, связанные с представлением о механических свойствах эфира, к более общей проблеме механического объяснения электродинамики вообще. Она привела к простому, у многих тел эмпирически наблюдающемуся отношению между показателем преломления и диэлектрической постоянной. Кроме того, она содержит в себе, как показал в 1875 г. Гендрик Антон Лорентц (1853—1928), полную теорию для предложенных уже Френе-

лем формул интенсивности при отражении и преломлении; последние только экспериментально подтверждались, но не могли быть объяснены теорией упругости. Несмотря на ее преимущества, этой теории пришлось сражаться за свое признание три десятилетия — так велика была сила старых теорий, опирающихся на общее механистическое мировоззрение. После того как в 1888 г. Генрих Герц (1857—1894) обнаружил электромагнитные волны и показал, что они имеют все свойства света: преломление, отражение, интерференцию, диффракцию, поляризацию и ту же скорость распространения, что и у света, — новая теория одержала победу. Старый спор о том, происходят ли световые колебания в плоскости поляризации, как полагал Френель, или они, согласно Францу Нейману (1798—1895), перпендикулярны к ней, был решен теорией отражения Лорентца, а также опытом Отто Генриха Винера (1862—1927) со стоячими световыми волнами, показавшим, что колебания электрического поля совершаются перпендикулярно к плоскости поляризации, а колебания магнитного поля — в самой этой плоскости. Это вполне естественное соединение до этого совершенно независимых теорий света и электродинамики является, может быть, крупнейшим из тех событий, на которые указывалось во введении, как на доказательство истинности физического знания.

Теория Максвелла в своей первоначальной форме хорошо представила распространение света в пустом пространстве, но не дала анализа оптических свойств материи. Особенно не хватало объяснения зависимости показателя преломления от длины волн. Электронная теория Джозефа Лармора (1857—1942) и Антона Лорентца объяснила не только нормальную, но также открытую в 1871 г. Августом Кундтом (1839—1894) аномальную дисперсию, связанную с избирательным поглощением, как явление резонанса способных к колебаниям атомных образований. Величайшим триумфом электронной теории было открытие Питером Зеemanом (1865—1943) в 1896 г. расщепления спектральных

линий в магнитном поле; в 1897 г. Лорентц дал объяснение этого так называемого эффекта Зеемана. В тесной связи с этим явлением стоит найденное уже в 1845 г. Фарадеем вращение плоскости поляризации под влиянием магнитного поля.

Так развилась теория, охватывавшая все явления распространения света и не уступавшая в завершенности механике. Но уже к 1900 году обнаружилось, что она не в состоянии объяснить явления поглощения и испускания света. Об этом будет речь в главах 13 и 14.



ГЛАВА 5

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Учение об электричестве и магнетизме гораздо моложе, чем механика и оптика. Кроме слова «магнит» и нескольких элементарных наблюдений над натертым янтарем древность не оставила ничего больше. (В Китае уже во втором столетии н. э. знали компас, но в Европу он попал только в XIII столетии.) Средние века дали знание того, что каждая часть магнита образует опять полный магнит. Достойным внимания является, может быть, страх, с которым воспринимал Христофор Колумб во время своего путешествия в 1492 г. перемену существовавшего в Южной Европе восточного отклонения компаса на западное. Даже в первые полтора столетия развития современной физики история физических идей мало направлялась в эту область, несмотря на несомненную заслугу Вильяма Гильберта (1540—1603), который исследовал при помощи небольшой магнитной стрелки изменение силовых линий вблизи намагниченных стальных шаров и установил совершенную аналогию их действия с действием Земли на компас, покончив тем самым со всеми преданиями о великих магнитных горах на Северном полюсе или о силе, исходящей из Полярной звезды. Он первый применил термин «электричество». Ничего не изменили также исследования Отто Герике, который заметил отталкивание одинаково заряженных тел и построил первую машину, производящую электричество путем трения, а также открыл намагничивание кусочков железа магнитным полем Земли. В механике,

оптике, учении о теплоте и химии происходило глубокое сознательное исследование древних сокровищ донаучного опыта, который имел определенное значение. Но в области электричества и магнетизма лишь предстояло пройти соответствующую «доисторическую» стадию, прежде чем можно было придти к ясным идеям. Исследователи XVII и начала XVIII веков сталкивались с такими сложными явлениями, как электризация путем трения, образование искры, влияние влажности воздуха и др., которые невозможно было объяснить из-за отсутствия основных понятий электростатики.

Все же в эту эпоху возник ряд важных качественных наблюдений. Различение проводников электричества и изоляторов провел в 1731 г. Стефан Грей (1670—1736); Франц Эпинус (1724—1802) показал в 1759 г., что между ними существуют переходы всех ступеней. Оба наблюдали впервые индукционные действия заряженных тел на изолированные проводники. Случайные наблюдения привели в 1745 г. Эвальда Георга фон Клейста (родился вскоре после 1700 г., умер в 1748 г.) в Каммине (Померания) и Питера Мушенброка (1692—1761) в Лейдене к открытию лейденской банки — первоначальной формы электрического конденсатора, над пониманием которой трудился, кроме Эпинуса, также Вениамин Франклин (1706—1790). Франклин дал термины «положительное» и «отрицательное» электричество. В связи с этим открытием Иоганн Карл Вильке (1732—1796) обнаружил в 1758 г. поляризацию диэлектрика — типичный пример рано появившегося и поэтому потерянного открытия. Электрофор, из которого должна была позднее развиться индукционная электростатическая машина, был изобретен Александром Вольта (1745—1827). Экспериментальное доказательство давно предполагавшейся электрической природы грозы, данное в 1752 г. Франклином, произвело большую и оправданную сенсацию.

Понятие «количество электричества», повидимому, уже с XVII столетия было общим достоянием и с самого начала без специального обоснования было

связано с представлением о том, что ничто не может быть создано или уничтожено. Еще не мог быть решенным спор о том, существуют ли два электрических «флюида», компенсирующих действия друг друга, или только один, имеющийся в электрически нейтральных телах в определенном «нормальном» количестве. Наш современный взгляд дуалистичен, поскольку положительные и отрицательные заряды приписываются носителям различной природы, и в то же время унитарен, поскольку существеннейшей составной частью материи объявляются атомные ядра — главнейшие носители положительного электричества.

В области магнетизма в середине XVIII столетия было известно лишь одно, опять преждевременное и потому не имевшее влияния, открытие явления диамагнетизма, которое было обнаружено в 1778 г. Антоном Бругмансом (1732—1789) при отталкивании висмута магнитом.

Учение об электричестве стало наукой только после установления закона Кулона, согласно которому сила, действующая между двумя зарядами, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Этот закон имеет своеобразную историю. Она началась с предположений об его существовании в связи с ньютоновским законом тяготения. В 1767 г. Пристли (1733—1804) вполне ясно видел убедительное доказательство этого закона в установленном им и другими, например Генри Кавендишем (1731—1810), явлении: заряд проводника находится целиком на его поверхности, в то время как внутренность проводника совершенно свободна от электрических действий. Однако на эти наблюдения не обращали никакого внимания. В 1785 г. Огюст Кулон (1736—1806) произвел опыты с помощью крутильных весов. Он непосредственно измерил силу между двумя маленькими заряженными шариками, частично по статическому отклонению весов, частично по колебаниям подвешенного к этим весам

шара. В следующей работе 1786 г. Кулон, не зная о своих предшественниках, сообщил о защитном действии проводников и видел также в этом доказательство закона электрических сил. Однако эта часть его работы была совершенно забыта, так что мы теперь большей частью связываем защитное действие проводников с именем Фарадея. На современников Кулона произвели большое впечатление только действительно наглядные измерения посредством крутильных весов, благодаря которым закон носит имя Кулона.

Кулон положил силу, действующую между двумя зарядами, пропорциональной количествам электричества по аналогии с законом Ньютона. Доказательства он не мог дать, так как не имел меры для зарядов. Идею определения этой меры, и именно на основе закона Кулона, мы впервые находим у Гаусса.

Кулон применял свой закон и к магнетизму. Но здесь его опыты менее убедительны, так как накопление магнитных «флюидов» на точечных полюсах представлялось всегда сомнительным, хотя он пытался доказать это заранее подготовленными измерениями. То, что было правильным в этом распространении закона Кулона на магнитные явления, нашло свое точное выражение в применимости дифференциального уравнения Лапласа к магнетизму, на что указал в 1828 г. Джордж Грин (1793—1841). Важным является полученное при помощи крутильных весов доказательство Кулоном того, что магнитное поле Земли сообщает магнитной стрелке вращательный момент, пропорциональный синусу угла отклонения от меридиана. Это является основой для понятия магнитного момента.

Прогресс, вызванный законом Кулона, иллюстрируется применением в 1811 г. Пуассоном (1781—1840) теории потенциала, развитой раньше для тяготения (гл. 3). Действительно, в законе Кулона или в эквивалентном ему дифференциальном уравнении Лапласа — Пуассона, а также в опыте, подтверждающем постоянство потенциала на проводнике, содержится вся электростатика, поскольку диэлектрики

не участвуют в явлениях. Дальнейшей разработкой теории потенциала мы обязаны, кроме Грина, Карлу Фридриху Гауссу (1777—1855), который выступил в 1839 г. со своей знаменитой работой. Эта теория оказала влияние далеко за пределами ее собственной области, так как стала прообразом для многих других областей математической физики.

Гаусс дал упомянутое определение количества электричества на основании закона Кулона. Единицей количества электричества является, соответственно этому закону, то количество, которое отталкивает с силой в 1 дину равное ему количество, находящееся от него на расстоянии в 1 см. Гаусс дал первое абсолютное измерение магнитного момента стального магнита и силы магнитного поля Земли. Его математическая теория этого поля является непосредственным и завершающим продолжением работы В. Гильберта. Гаусс основал также первую рациональную электрическую и магнитную систему мер.

— Но закон сохранения электричества впервые был доказан в 1843 г. Михаилом Фарадеем (1791—1867). В изолированном, соединенном с кондуктором электрометра «ведре для льда» он помещал заряженный металлический шар, висящий на длинной шелковой нити; мерой его заряда являлось расхождение листочков электрометра. Фарадей показал, что это расхождение не зависит от тех предметов, которые еще находятся в «ведре для льда», и от состояния их заряда. Можно этот заряд перенести целиком или частично на другой проводник; это не окажет никакого влияния. Только когда вносят новые заряды в «ведро для льда», отклонение электрометра также изменяется; оно указывает алгебраическую сумму введенных зарядов. Этот опыт, не уступающий по своему значению в это же время полученным доказательствам закона сохранения энергии, не нашел такой же оценки только потому, что представление о неразрушаемых электрических флюидах было уже раньше установлено и не нуждалось в защите.

Второй, может быть еще более плодотворный, шаг наука об электричестве совершила тогда, когда Александр Вольта (1745—1827) сделал открытие на основе наблюдений Луиджи Гальвани (1737—1798) над лягушечьей лапкой, которые произвели сенсацию и нашли много последователей. Редко новое наблюдение является столь трудным для понимания, как это; этим открытием была проложена дорога в совершенно неизведанную область.

Первые случайные наблюдения Гальвани над вздрагиванием лягушечьих лапок, соединенных с металлической скобой, вблизи электрических искровых разрядов или при приближении грозы были фактически первым указанием на электрические колебания; лягушечья лапка действовала как «детектор». Но лишь более чем через сто лет физики смогли это использовать. Тогда же (1792 г.) исследование и счастливый случай привели Гальвани к тому, что он смог вызывать вздрагивания лапок лягушки при помощи скобы, сделанной из двух различных металлов. Это был первый гальванический элемент; лягушечья лапка была одновременно его электролитом и индикатором тока. Но это не было осознано самим Гальвани. Он полагал, может быть не совсем неправильно, что перед ним явления животного электричества, которые уже давно были известны у электрического ската и других рыб.

Вольта также защищал в 1792 г. это воззрение. Но после длинного ряда опытов он все более и более проникнулся мыслью, что биологический объект — лягушечья лапка или даже человеческий язык — имеют только второстепенное значение. В 1796 г. он совсем исключил этот момент и высказал существенное предположение о «циркуляции» электричества в цепи проводников, когда она состоит из двух (или более) проводников «первого» класса и одного проводника «второго» класса. Он первый ввел эти понятия, так же как понятие стационарного электрического тока. Опираясь на это новое знание, он сконструировал в 1800 г. вольтов столб, этот прототип гальванических элементов,

появившихся в последующие годы и десятилетия, как грибы после дождя. Знаменитым стал также «основной опыт Вольта», который должен был показать зарядение двух металлов при соприкосновении. Современная критика (Эмиль Варбург) его подрывает: между двумя металлическими пластинками имеется всегда еще водяная прослойка, и фактически то, что измерял Вольта, было напряжением на полюсах открытого гальванического элемента. Но правильным и основополагающим было указание Вольта на то, что в чисто металлической среде, сколько бы ни было различных металлов, моментально образуется электрическое равновесие, которое исключает любой ток. Только температурные различия порождают ток (термоэлектричество). Это было обнаружено в 1821 г. Томасом Иоганном Зебеком (1770—1831).

Электролиз, в котором мы теперь видим причину возникновения гальванического тока, был описан уже в 1797 г. до элемента Вольта Александром Гумбольдтом (1769—1859) (стяжавшим большую славу своими достижениями в описательных естественных науках). Он наблюдал электролиз в цепи одного цинкового и одного серебряного электродов с прослойкой воды между ними. Гениальный фантазер Иоганн Вильгельм Риттер (1776—1810) получил путем электролиза металлическую медь из раствора медного купороса. Он обнаружил также идентичность статического и гальванического электричества, применяя для электролиза разряды лейденской банки. Он первый установил, что химические превращения являются причиной возникновения тока в гальваническом элементе. В 1800 г. Гемфри Дэви (1778—1829) начал свои знаменитые электролитические исследования, которые его привели в 1807 г. к открытию гальванического выделения щелочных металлов. Благодаря количественному измерению массы продуктов электролиза он открыл для исследования направление, которое привело в 1834 г. к закону эквивалентности Михаила Фарадея (1791—1867), в 1853 г. к работам Иоганна Вильгельма Гитторфа (1824—1914)

о передвижении ионов, в 1875 г. к открытию Фридрихом Кольраушем (1840—1910) независимости подвижности ионов, а в 1887 г. к теории электролитической диссоциации Сванте Аррениуса (1859—1927). Замечательное завершение нашел этот знаменитый ряд открытий в теории электродвижущих сил Вальтера Нерста (1864—1941).

Тем самым была завершена теория гальванического тока. Правда, представление о том, что, например, ион натрия должен свободно двигаться в водном растворе, не реагируя химически с окружающей средой, встречало вначале значительное сопротивление; часто не признавали различия между нейтральным атомом и ионом. Но теория получила такие многочисленные подтверждения, что сопротивление постепенно заглохло.

Открытие Вольта положило начало ряду еще других линий развития. Гальванические элементы давали токи совсем другой силы и продолжительности, чем те, которые получались путем разряда конденсатора. В 1811 г. Дэви при помощи батареи из 2000 элементов получил вольтову дугу, которая служила электрическим источником света до тех пор, пока в 70-х годах XIX столетия она не была постепенно вытеснена изобретенной Томасом Эдисоном (1847—1931) осветительной лампой. Благодаря элементам стали доступны исследованию магнитные действия тока.

С начала XIX века существовало много различных предположений о силах, действующих между электрическими и магнитными флюидами; эти предположения привели к исследованиям взаимодействия между магнитными полюсами и открытыми вольтовыми столбами. Независимо от таких ложных путей и чисто случайно Ганс Христиан Эрстед (1777—1851) натолкнулся в 1820 г. на факт отклонения магнитной стрелки электрическим током и нашел после этого также соответствующее направление силы магнита, действующей на контур с током. Многие физики, особенно фран-

цузские, стали исследовать вновь открытую область, и в течение двух лет были созданы основы электромагнетизма. Сначала Доминик Франсуа Араго (1786—1853) и Жозеф Луи Гей-Люссак (1778—1850) наблюдали намагничивание куска железа под влиянием тока, проходящего по проволоке, намотанной на железо. Это был первый электромагнит. В том же году Андре Мари Ампер (1775—1836) установил свое знаменитое правило пловца для определения направления магнитного силового поля по отношению к проводнику тока и нашел, что одинаково направленные токи притягиваются, а противоположно направленные — отталкиваются. Он показал, что соленоид действует как магнитный стержень. Одновременно Жан Батист Био (1774—1862) и Феликс Савар (1791—1841) на основании результатов опыта сформулировали названный по их имени закон магнитного действия отдельного элемента тока. Фарадей в 1821 г. подверг действию постоянных магнитов подвижные части цепи тока и, наоборот, магниты действию токов. После этого в 1822 г. Ампер показал взаимодействие двух электрических цепей тока и принял его за исходный пункт для своего основного закона электродинамики — термин, который впервые появляется именно у него. Особенное значение имело, правда только через столетие, его объяснение магнетизма уже не посредством двух магнитных флюидов, но действием гипотетических молекулярных токов (1821—1822).

Из этих магнитных действий тока была получена мера для силы тока. В 1826 г. Симон Ом (1787—1854) при помощи ясного разделения понятий «электродвижущая сила», «уровни напряжения», «сила тока» вывел названный по его имени закон пропорциональности между силой тока и разностью напряжений, причем коэффициент пропорциональности означал сопротивление проводника. Ом показал, что сопротивление

провода пропорционально длине и обратно пропорционально ее сечению, и заложил этим основы для понятия удельной электропроводности тел. Но это только одна из трех констант, которые характеризуют поведение любого вещества в отношении электричества и магнетизма.

В 1847 г. Р. Кирхгоф (1824—1887) смог разрешить проблему разветвления тока путем установления правил, названных по его имени.

Важнейшее применение электродинамика нашла в телеграфе. В 1833 г. Гаусс и Вильгельм Вебер (1804—1891) дали принцип функционирования телеграфа по одной линии.

После 1822 г. наступил перерыв в развитии электромагнетизма, хотя до этого была исследована только половина этой группы явлений.

В 1831 г. Фарадей открыл, что действию токов на магнит соответствует обратное действие магнита на ток. Он наматывал на железное кольцо две катушки из проволоки и пропускал ток через первую катушку; сразу же после включения тока в первой катушке возникал ток во второй; при выключении тока в первой катушке во второй появлялся ток противоположного направления. Тем самым была открыта индукция, и Фарадей в последующие годы выяснил ее различные формы. В 1833 г. его несколько неясные указания о направлении индуцированных движений токов Э. Х. Ленц (1804—1865) соединил в правило, названное по его имени. Вскоре появились индукционные машины, которые вырабатывали электрический ток без применения гальванических элементов. Но особенно большой подъем в этой области начался после 1867 г., когда В. Сименс (1816—1892) заменил используемые в индукционных машинах стальные магниты электромагнитами, которые питались вырабатываемым этими маши-

нами током; именно в этом заключается динамоэлектрический принцип.

Электродинамика дала возможность установить вторую, независимую от закона Кулона, систему мер. Можно, например, в качестве единицы силы тока выбрать такой ток, который, протекая в длинном проводнике на расстоянии одного сантиметра от второго такого же проводника с таким же током, действует на единицу длины последнего с силой в одну дину. Эта электромагнитная единица такова, что равная ей сила тока в течение единицы времени дает конденсатору единицу количества электричества. Это с необходимостью привело к вопросу об отношении к электростатической единице, определенной законом Кулона. Из соответствующих формул увидели, что это отношение имеет размерность скорости. Его значение измерил в 1852 г. Вильгельм Вебер (1804—1891) с удивительным результатом: это есть скорость света, равная $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Джемс Клерк Максвелл (1831—1879) проверил этот результат в 1868—1869 гг. с более высокой точностью, так как это имело основополагающее значение для электромагнитной теории света. В дальнейшем определение этого отношения было так усовершенствовано, что и сейчас считается точным измерением скорости света.

Применяемые в настоящее время в технике электрические единицы — ампер, ом, вольт и др. — были установлены в 1881 г. Интернациональным конгрессом в Париже. В то время, в силу недостаточного предвидения развития техники, не решались принять электромагнитную единицу силы тока как техническую единицу, так как она казалась непрактично большой, и определили ампер как $1/10$ этой единицы.

Во всех упомянутых до сих пор измерениях имели дело с токами в металлических проводниках. В 1872 г. Генри Роуланд (1848—1901) показал, что конвекционные токи статических зарядов на движущихся телах оказывают точно такое же магнитное действие.

Открытия электродинамики поставили теорию перед задачами, которые в отличие от всех прежних задач не могли быть разрешены рассмотрением центральных сил, действующих между материальными точками и зависящих только от расстояния. Ампер и Франц Эрнст Нейман (1798—1895) и прежде всего Вильгельм Вебер разработали новую теорию. Основной закон Вебера (1846) охватил все, что тогда знали об электричестве, допущением, что сила между двумя зарядами зависит не только от расстояния, но также от скорости и ускорения, что токи являются движущимися зарядами. До 1890 г. закон Вебера играл большую роль в науке. Но все эти теории страдали тем недостатком, что они допускали дальноедействие. Поскольку была признана конечная скорость распространения электрических действий, они лишались почвы. Они свидетельствуют еще сегодня о том, как тяжел был путь познания в этой области, к каким большим изменениям всех физических воззрений он привел.

Вождем в разработке правильного понимания электрических и магнитных явлений был Михаил Фарадей. В 1837 г. он обнаружил влияние диэлектриков на электростатические явления; в 1846 и в последующие годы он показал общую распространенность диамагнитных свойств в природе, в то время как парамагнетизм является исключением. Тогда же у него возникло представление, что электрические и магнитные действия не непосредственно идут от тел к телам, а переносятся через лежащий между ними диэлектрик, который становится местом электрического или магнитного «поля», — это понятие также введено Фарадеем. Указанное воззрение развивалось постепенно в процессе его экспериментов.

«Этим объясняется то, что в опубликованных работах он выражает свои идеи в форме, особенно приспособленной для возникающей науки. В самом деле, его манера писания значительно отличается от манеры тех физиков, которые, как Ампер, были призваны облечь ее идеи в математическую форму». Так оценивает

Джемс Клерк Максвелл *) работы Фарадея и несколько дальше он продолжает: «Может быть для науки является счастливым обстоятельством то, что Фарадей не был собственно математиком, хотя он был в совершенстве знаком с понятиями пространства, времени и силы. Поэтому он не пытался углубляться в интересные, но чисто математические исследования, которых требовали его открытия. Он был далек от того, чтобы облечь свои результаты в математические формулы, либо в те, которые одобрялись современными ему математиками, либо в те, которые могли дать основание новым начинаниям. Благодаря этому он получил досуг, который требовался ему для работы, соответствующей его духовному направлению, смог согласовать идеи с открытыми им фактами и создать если не технический, то естественный язык для выражения своих результатов». О своих собственных исследованиях Максвелл прибавляет следующее: «Я предпринял специально эту работу в надежде, что мне удастся придать его (т. е. Фарадея) идеям и методам математическое выражение».

Действительно, Максвелл в своем первом сочинении 1855—1856 гг. формулирует математически понятие силовых линий Фарадея. Так как он особенно тщательно анализирует характер силовых линий электрического тока, ему удается вывести хорошо известное нам векторное дифференциальное уравнение для стационарных полей, соответственно которому каждая линия тока образует вихревую линию магнитного поля. Но для всего дальнейшего решающим шагом, наиболее своеобразной работой Максвелла была его статья 1862 г. **), в которой он впервые прибавляет к току проводимости ток смещения, возникающий в каждом диэлектрике при изменении напряженности электрического поля и всегда дающий вместе с током проводи-

*) *Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus*, English — Cambridge, 1873; Deutsch von B. Weinstein — Berlin, 1883, т. II, 216.

**) *Philosophical Magazine* (4) 23, 12 (1862); уравнение (112).

мости замкнутый общий ток. Максвелл пришел к этому посредством гипотетической квазимеханической модели. Никто не рассматривал этот вывод как убедительное доказательство, и Максвелл даже не поместил его в своем обширном учебнике 1873 г. Но очень интересно, что Максвелл именно на этом обходном пути совершил свое решающее открытие. Электромагнитная теория света (гл. 4), т. е. учение о том, что существуют электромагнитные волны, распространяющиеся со скоростью света, была только необходимым следствием; Максвелл вывел его в 1865 г. Перенос силы электромагнитным полем Максвелл свел к напряжениям, которые носят теперь его имя и которые аналогичны упругим напряжениям, исследованным Коши (гл. 2); они отличаются от последних только тем, что не связаны с деформацией материи. Более того, будучи вызваны исключительно полем, они могут иметь место даже в пустоте, в отсутствии всякой материи. В соответствии с этим в чисто электрическом или чисто магнитном поле имеется натяжение вдоль каждой силовой линии, а перпендикулярно к ней — давление той же интенсивности. Лишь напряжения Максвелла привели к уточнению понятия близкодействия.

Так были полностью заложены физические основы современной теории электричества. В 1890 г. Генрих Герц (1857—1894) придал закону индукции Фарадея форму дифференциального уравнения, которое дополняет данное Максвеллом дифференциальное уравнение. Тем самым система уравнений Максвелла, в которой мы вместе с Герцем усматриваем сущность теории Максвелла, приняла такой эстетически совершенный симметричный вид, который, принимая во внимание всеобъемлющее физическое содержание системы, привлекает нас почти как очевидность. Но все же это было только формальным делом. Лишь в 1884 г. возникла теория Пойнтинга о потоке энергии (гл. 5) и появились открытия Г. А. Лорентца и Анри Пуанкаре (1854—1912) относительно связи потока электромаг-

нитной энергии с электромагнитным импульсом. Это означало, однако, только некоторое дополнение, а не существенное изменение основ теории Максвелла.

Несмотря на свою внутреннюю замкнутость и полное соответствие с опытом, теория Максвелла только постепенно находила признание среди физиков. Слишком необычными были ее идеи. Даже люди масштаба Гельмгольца и Больцмана много лет потратили на овладение ею.

В 1879 г. Берлинская Академия поставила конкурсную задачу: экспериментально доказать влияние диэлектрика на магнитную индукцию; в 1887 г. ее разрешил Г. Герц посредством быстрых колебаний. Важным результатом подобных размышлений явилось также исследование Конрада Рентгена (1845—1923) в 1888 г. Он обнаружил, что магнитные действия движущегося электрически поляризованного диэлектрика таковы же, как действия электрического тока. Это соответствует идее Фарадея. Мы называем установленный эффект током Рентгена. Открытие в 1888 г. электромагнитных волн Герцем положило конец всем сомнениям. Из числа колебаний и длины волн он непосредственно определил скорость их распространения и нашел ее равной скорости света.

Предистория этого открытия связана с сочинением Гельмгольца «О сохранении силы» (1847, гл. 6). Из различных наблюдений над разрядами лейденских банок и особенно из независимости порождаемого при этом джоулева тепла от всех особенностей проволоки, замыкающей контур, Гельмголец заключил о колебательном характере разряда. Точно так же в связи с принципом сохранения энергии Вильям Томсон (лорд Кельвин) дал в 1853 г. математическую теорию этого явления, к которой мы едва ли что-нибудь можем прибавить. Беренд Вильгельм Феддерсен (1832—1918) наблюдал с 1858 до 1862 г. эти колебания в виде

разрядной искры во вращающемся зеркале. В 1870 г. Фридрих Вильгельм Безольд (1837—1907) явно обнаружил колебания в проводящих проволоках со свободным концом и в цепи резонатора с разомкнутым искровым промежутком. Но впервые в руках Герца подобные резонаторы стали средством исследования волн в атмосфере, средством доказательства их поляризации, отражения, преломления, а также интерференции; они дали возможность также измерить длины волн и тем самым скорость распространения.

Волны, с которыми экспериментировал Герц, были сильно затухающими. Если мы теперь можем повторить его опыты с незатухающими волнами и, следовательно, с большей точностью, то этим мы обязаны технике. Но эта техника прошла трудный путь до 1913 г. и позже, пока научились получать незатухающие волны на основе принципа обратной связи (гл. 1), что было использовано для беспроволочного телеграфа и других подобных целей.

Как за Ньютоном последовала эпоха математического оформления механики, так отныне наступила пора математической обработки теории Максвелла. Для представления магнитных вихревых полей стационарных токов уже в прежние времена был введен вектор-потенциал. Теперь ему и скалярному потенциалу электростатики был противопоставлен западающий потенциал, введенный в 1898 г. Альфредом Мари Лиенаром и в 1900 г. Эмилем Вихертом (1861—1928). В этом потенциале конечная скорость распространения электромагнитных волн находит свое наиболее четкое выражение. Перечисление всех исследователей, которые математически решали важные научные и технические проблемы переменных электрических полей, выходит далеко за рамки данной книги. В современном изложении теория Максвелла является замечательным творением, равноценным механике.

В начале XX века учение об электричестве и магнетизме казалось достаточно завершенным, тем более, что незадолго до этого атомистика внесла порядок и ясность в понимание явлений разряда в разреженных газах. Однако именно в самой существенной области этого учения, в области электропроводности, было открыто новое неожиданное явление. В 1835 г. измерениями Э. Х. Ленца (1804—1865) было показано, что сопротивление металлов при охлаждении уменьшается. Камерлинг-Оннес (1853—1926) исследовал это явление при температуре 10°K , достигнутой в 1908 г. при ожижении гелия. Он нашел, что у металлов, например у золота, серебра, меди, имеется некоторое критическое значение сопротивления, ниже которого оно не падает. Но в 1911 г. он обнаружил сначала у ртути, а затем у свинца, олова и некоторых других металлов внезапное исчезновение сопротивления электрическому току, как только температура падала ниже критической точки, характерной для этих тел. Так была установлена сверхпроводимость. В 1914 г. Камерлинг-Оннес показал, что ток, циркулирующий в сверхпроводящем кольце, не изменялся по величине в течение нескольких дней без приложения какой-либо электродвижущей силы. Наконец, Камерлинг-Оннес нашел также, что при постоянной температуре сверхпроводимость может быть разрушена действием магнитного поля, после чего вступает в свои права закон Ома. Напряженность магнитного поля, при котором еще сохраняется сверхпроводимость, изменяется по мере понижения температуры и у чистых металлов может достигать несколько сот гаусс.

Последующие исследователи прибавили к списку сверхпроводников еще несколько чистых металлов, а также ряд сплавов и химических соединений. В. Гааз и его сотрудники заметили, что критическое значение напряженности поля для сверхпроводящей проволоки зависит от направления магнитного поля по отношению к оси проволоки. Объяснение этому явлению дал в 1932 г. М. Лауэ. Если поместить сверхпроводник

в однородное магнитное поле, то он деформирует это поле, потому что силовые линии обходят его, как это показал на основе теории Максвелла Габриэль Липпман (1845—1921). Но сжатие силовых линий обуславливает усиление поля в определенных точках поверхности; сверхпроводимость разрушается, как только в какой-либо точке достигается критическое значение поля. Это подтвердили в последующие годы измерения Гааза и его сотрудников на сверхпроводниках различной формы.

Но все же сверхпроводник не является проводником в смысле теории Максвелла. Нельзя сказать, что он отличается от других проводников только бесконечно большой проводимостью. Тогда магнитное поле, проникая внутрь проводника, должно было бы «вмораживаться» в нем при падении температуры ниже критической точки. Но в 1933 г. измерения В. Мейснера и Р. Оксенфельда показали, что оно при этом будет вытеснено, причем не существенно, производят ли раньше охлаждение ниже критической точки, а потом возбуждают магнитное поле, или наоборот. Этот эффект Мейснера требует дополнения теории Максвелла на совершенно новых основах.

По вопросу об отношении электромагнитного поля к его зарядам взгляды физиков менялись. Подобно тому как Ньютон и его последователи рассматривали гравитацию как причинно обусловленный результат действия масс, так каждый физик первоначально рассматривал электрические силы как результат действия зарядов. Фарадей и Максвелл выдвинули на передний план понятие поля, а заряды были сведены к своего рода сингулярным точкам поля. Но отношение опять перевернулось, когда в связи с электронной теорией на передний план выступили атомные носители электрических элементарных зарядов. Нам кажется, что ни одно из этих воззрений не соответствует фактам. За-

ряды и поле настолько связаны друг с другом, что одно не может существовать без другого. Поэтому наука может с одинаковым успехом как принимать заряды за основу для познания поля, так и заключать о зарядах из изменений электрических силовых линий. Это — логические заключения; они не имеют дела с реальным отношением причины и следствия. То же, конечно, относится к взаимоотношениям между полем тяготения и его массами.

Своеобразны отношения между учением об электричестве и механикой. Как уже говорилось, Максвелл пытался в 1862 г. дать механическую картину магнитного поля. Позднее, в период прогрессирующего признания его теории, многие пытались более рациональным путем представить механику эфира как основу для такой картины. И до известной степени можно подчинить теорию линейных замкнутых (квазистационарных) токов теории циклов, разработанной Гельмгольцем на основе механики. Но это не больше, чем математическая аналогия между различными видами физических процессов. Во всяком случае она характерна для проникновения электродинамических воззрений в широкие круги; последнее иллюстрируется тем, что современный инженер чаще объясняет действие механических машин через соответствующую электрическую схему. Но постепенно к 1900 г. поняли, что общее сведение электродинамики к механике невозможно.

С 1880 г. постепенно выступала противоположная мысль: свести механику к электродинамике. То, что движущийся носитель заряда несет с собой свое электрическое поле и что он имеет количество движения, связано с идеей электромагнитного происхождения инертной массы. Некоторые пытались любую массу рассматривать как электромагнитную массу. В 1902 г. это воззрение нашло свое математическое отражение

в теории Макса Абрагама (1875—1922) относительно импульса движущегося электрона, представляемого в виде заряженного шара; масса получалась зависящей от скорости, и формула Абрагама долгое время конкурировала с релятивистской формулой (гл. 2).

Но и от этой идеи физика отошла. Опыты дали, наконец, однозначное решение в пользу релятивистской формулы; к тому же теория Абрагама получала для пропорциональности между энергией и покоящейся массой другой коэффициент, чем выступающий в эйнштейновском законе инертности энергии, нашедшем полное подтверждение в ядерной физике (гл. 11). Однако в качестве подготовки релятивистской динамики работы Абрагама имели большое значение.

Если релятивистская динамика также совершенно независима от какого-либо представления о природе сил и, таким образом, также независима от электродинамики, то последняя все же играет решающую роль при открытии этой динамики. Из опытов, которые были сконцентрированы в динамике Ньютона, нельзя было прийти к теории относительности Эйнштейна; они были недостаточно точны. Поскольку электродинамика привела к связанному с преобразованиями Лорентца принципу относительности, она обусловила также переход от ньютоновской динамики к релятивистской. В этом чисто историческом смысле современная динамика основывается также на электродинамике.

Новейшие исследования по магнетизму выходят за пределы чистой электродинамики. Согласно теории Максвелла намагничение пропорционально магнитному полю в соответствии с опытами, относящимися к диамагнитным и слабо парамагнитным телам. В железе, никеле, кобальте и некоторых сплавах, в которых впервые был открыт магнетизм, при растущей силе поля намагничение достигает значения насыщения, которое, конечно, лежит далеко за пределами намагничения у

других веществ. Для твердых металлов, как, например, большинства сортов стали, намагничение вообще гораздо меньше зависит от силы поля, чем от предварительной обработки. В противном случае не было бы постоянного магнита. Для подобных веществ в 1880 г. Эмиль Варбург (1846—1931) обнаружил явление, которое независимо от него открыл в 1882 г. Джемс Альфред Эвинг (1855—1935) и назвал его гистерезисом: в том случае, когда поле возрастает от нуля, намагничение происходит иначе, чем при его убывании до нуля. С намагничением, следовательно, связана работа, которая в магните превращается в теплоту. Еще поразительнее было открытие Пьера Кюри (1859—1906). Он нашел в 1895 г., что диамагнетизм независим от температуры, в то время как парамагнитная восприимчивость, напротив, с увеличением абсолютной температуры уменьшается обратно пропорционально ей. Что касается ферромагнетизма, то при характерной для вещества «температуре Кюри» (для железа она равна 774°C , для никеля 372°C , для кобальта 1149°C) он переходит в нормальный парамагнетизм, постепенно уменьшающийся с возрастанием температуры. Теоретическое объяснение различного поведения диа- и парамагнитного вещества дал в 1905 г. Поль Ланжевен (1872—1946). В то время как диамагнетизм основывается на индукционном действии магнитного поля на электроны, находящиеся в молекуле, парамагнетизм вызывается свободно вращающимися элементарными магнитами с постоянными моментами; поле заставляет их принять определенное направление вопреки воздействию теплового движения. В 1907 г. Пьер Эрнст Вейс (1865—1940) распространил статистическую термодинамическую теорию на ферромагнетизм, создав гипотезу внутреннего магнитного поля, напряженность которого характерна для тела и для его намагничения и которое наряду с магнитным полем содействует ориентации элементарных магнитов. Какой бы произвольной ни казалась вначале эта гипотеза, Вейс был на правильном пути; в 1927 г. Гейзенберг смог свести

внутреннее поле посредством теории квант к «спину» электронов. Тем самым магнетизм подобно электричеству был сведен к первоначальным свойствам элементарных частиц (гл. 14).

От этой теории до количественного понимания свойств ферромагнетиков путь, конечно, далекий и он еще не вполне проложен. Среди многих обстоятельств при этом играют роль, например, кристаллическая структура, упругие напряжения и примеси.

Как показал Дебай в 1912 г., теория магнетизма Ланжевена без всяких оговорок может быть применена к объяснению зависимости от температуры электрической восприимчивости жидкостей и газов, молекулы которых обладают постоянным электрическим моментом; электрическая восприимчивость также уменьшается обратно пропорционально абсолютной температуре.





ГЛАВА 6

СИСТЕМА ОТСЧЕТА В ФИЗИКЕ

Проблема, указанная в этом заглавии, уходит своими корнями в греческую древность. Она прошла три стадии развития: геометрическую, простиравшуюся до XVII столетия; динамическую, которая после победы волновой теории света (около 1800 г.) распространилась на всю физику, и, наконец, эпоху теории относительности Эйнштейна, начавшуюся в 1905 г.

В геометрическую эпоху вопрос о системе отсчета был непосредственно связан с вопросом о положении и движении тела. С самого начала было ясно, что оба эти понятия без задания чего-то, по отношению к чему они могут быть определены, теряют смысл. Аристотель (384—322 до н. э.) и вслед за ним вся схоластика относили положение тела к окружающей его материальной субстанции. Шел спор о том, касается ли эта субстанция тел непосредственно или допустимы конечные расстояния. При таком толковании были неразрешимы спорные вопросы, как, например, движется ли при наличии ветра корабль, стоящий на якоре, поскольку вода и воздух вблизи него постоянно обновляются, или же он покоится, так как с берега движение не констатируется. Более важным для физики было то, что согласно воззрениям Клавдия Птолемея (он жил во II столетии н. э. в Александрии) сфера неподвижных звезд, как наиболее отдаленная от окружающих Землю сфер, вообще не имеет положения. За ней нет ничего, что ее окружало бы, нет даже

пространства. Несмотря на это, она должна была, согласно учению Птолемея, иметь движение, а именно суточное вращение вокруг Земли.

Этой непоследовательности не избежал Николай Коперник (1473—1543) при обосновании системы, названной его именем. Когда он приписал покой сфере неподвижных звезд, а Земле, напротив, суточное вращение вокруг ее оси, то это было только логическим улучшением традиционного воззрения. Коперник еще придерживался взгляда, который нам так трудно понять, что за сферой неподвижных звезд ничего нет. От этого взгляда освободился лишь сильный противник Аристотеля — Джордано Бруно (род. в 1548 г.), который в 1600 г. был подвергнут в Риме сожжению за учение о бесконечном множестве миров, за свое выступление в пользу Коперника и т. п. «ереси». Кеплер не решился присоединиться к этому смелому и все же неизбежному дополнению системы Коперника.

При дальнейшем обосновании гелиоцентрической системы Коперник руководился своего рода телеологической точкой зрения простоты природы. «Природа не делает ничего лишнего или напрасного», — говорили еще греки. Коперник считал, что проще объяснить движение планет на небесном своде собственным движением Земли, т. е. движением одного тела вокруг Солнца, чем описанными Птолемеем сложными вращательными движениями всех планет. Как ни импонирует нам эта мысль теперь, но невозможно было дать причинное обоснование при тогдашнем состоянии физики.

Вполне понятно, что требование простоты, больше апеллирующее к чувству, чем к критическому разуму, не смогло убедить многих современников и потомков Коперника. Кроме того, представление о том, что все человечество находится в постоянном круговороте, не замечая этого, вовсе не было простым и к тому же в то время физически не было обосновано. Нельзя поэтому считать ни отсталостью, ни трусостью то, что

издатель великого труда Коперника «De revolutionibus» *) нюрнбергский ученый Осиандер, наблюдавший за печатанием книги вместо автора, охарактеризовал в предисловии систему Коперника как простую «гипотезу», оправданную благодаря своему соответствию с наблюдениями, но не являющуюся на этом основании истинной.

Страстная борьба, которая развернулась вокруг этой системы, меньше всего связана с недостаточностью причинного физического обоснования ее, как это было всегда в «геометрическую» эпоху. Надо добавить к этому, что представители церкви, как католической, так и протестантской, например доктор Мартин Лютер, не признавали движение Земли как противоречащее библии. Они повторяли при этом, собственно, только те обвинения, из-за которых уже в III столетии до н. э. пострадал, как «безбожник», Аристарх из Самоса, первый защитник подобной системы. Очень характерен факт, что от Аристарха до Эйнштейна ни одна физическая теория не смогла так всколыхнуть широкие круги общественности, как теория, касавшаяся привычных взглядов на пространство и время. Осуждение Галилея также относилось не к геометрическим основам системы Коперника и не к галилеевским астрономическим открытиям, а к «Диалогам о двух главных системах мира», в которых подробно и иногда остроумно опровергались динамические аргументы против движения Земли.

Коперник сам не принимал участия в борьбе вокруг его системы. Он воздерживался до 1543 г. от опубликования начатой еще в 1507 г. книги. Только на смертном одре он увидел некоторые части ее в печати. Но намного раньше, вероятно в 1514 г., он послал своим друзьям нечто вроде предварительного резюме сочинения, позднее названного «Commentariolus». Около 1880 г. оно появилось в Венской библиотеке

*) В названии «De revolutionibus orbium coelestium» оба последних слова являются дополнением издателя.

после долгого забвения. Оттуда мы берем следующие предложения *).

1) Нет одного общего центра для всех небесных орбит или сфер.

2) Центр Земли не есть центр мира, а только центр тяжести и центр орбиты Луны.

3) Все орбиты окружают Солнце, как будто оно находится в их центре; поэтому центр мира лежит вблизи Солнца.

Очевидно, для того, чтобы избежать возражения, что в течение года должен меняться вид неба неподвижных звезд вследствие вращения Земли, дальше следует:

4) Отношение расстояния между Солнцем и Землей к высоте неба неподвижных звезд гораздо меньше, чем отношение радиуса Земли к ее расстоянию от Солнца. Это расстояние незначительно по сравнению с высотой неба неподвижных звезд.

5) Все движения, которые констатируются в небе, не существуют реально, а только представляются таковыми с Земли. Земля с принадлежащими ей элементами совершает суточное вращение вокруг ее неподвижных полюсов. При этом небо неподвижных звезд, как наиболее удаленное, остается неподвижным.

6) Видимое движение Солнца не присуще ему самому, а является следствием вращения Земли по ее орбите вокруг Солнца, как это свойственно всем планетам. Итак, Земля подвержена многим движениям.

7) То, что кажется у блуждающих звезд движением взад и вперед, не является на самом деле таковым, но связано с движением Земли. Последнее само по себе является достаточным для объяснения многочисленных и многообразных явлений, которые наблюдаются на небе.

Все это кажется нам вполне ясным и недвусмысленным. И все же подобная система представляла для

*) Цитируется по немецкому переводу д-ра Ф. Россмана, *Naturwissenschaften* 34, 65, 1947.

Коперника еще большие трудности. Как иначе можно объяснить, что он впоследствии приписал Земле, кроме ее суточного и годового движения, еще третье движение, при котором земная ось изменяет свое положение по отношению к Солнцу в течение года, что дает возможность объяснить изменение времен года? Однако достаточно того, что ось Земли сохраняет свое положение по отношению к небу неподвижных звезд (если применять терминологию Коперника)! Это заблуждение несколько напоминает поднявшийся во времена Ньютона спор о том, имеет ли собственное вращение Луна, поскольку мы всегда видим только одну ее сторону. Те, которые не могли вполне освободиться от геоцентрической точки зрения, отрицали это вращение. А у Коперника, вероятно, играло аналогичную роль определенное предпочтение в отношении Солнца.

Как бы то ни было, мы обязаны Копернику указанием на систему отсчета, начало которой находится в центре тяжести нашей солнечной системы, а оси ориентированы по небу неподвижных звезд. Физика относит к этой системе отсчета каждое место и каждое движение, если не даны дальнейшие уточнения. Три координаты, которыми определяется точка, согласно аналитической геометрии Декарта (1596—1650) тоже относятся к этой системе во всех случаях, когда нет дополнительных определений. Без Коперника не были бы установлены законы Кеплера и теория тяготения. Можно согласиться с тем, что его обоснование теории несовершенно, но не может только что родившаяся наука быть хорошо обоснованной. И величие ее основателей обнаруживается как раз в том, что они интуитивно уловили истину.

Иоганн Кеплер (1571—1630) способствовал укреплению системы Коперника. Действительно, на почве этой системы выросли его три закона движения планет, благодаря которым стали возможными более точные астрономические вычисления. Вряд ли эти законы смогли бы возникнуть на основе системы Птолемея. Но для более глубокого обоснования системы

Коперника Кеплер имел мало значения; его аргументы исходили из точки зрения простоты и красоты, которая не чужда была и Копернику. Кеплер, повидимому, не имел ясного понимания значения динамических открытий своего современника Галилея, астрономическими открытиями которого он восхищался. Но в борьбе Коперника и Птолемея основное значение имели именно эти динамические открытия. Уже тогда противники Коперника приводили динамические аргументы. Можно встретить у них, например, такое возражение: в силу суточного вращения Земли все предметы, которые не очень крепко связаны с ее поверхностью, должны быть отброшены в мировое пространство и, двигаясь вокруг Солнца, оставаться позади Земли. Лишь новая динамика могла с успехом опровергнуть такое возражение. Частично решение было дано Галилео Галилеем (1564—1642), затем окончательно Исааком Ньютоном (1643—1727).

В борьбе за систему Коперника первая заслуга Галилея, этого наиболее плодовитого, очень популярного и в то же время ненавидимого ученого-борца, заключается в его великих астрономических открытиях, ставших возможными благодаря применению нового вспомогательного средства — телескопа. В 1610 г. он показал, что спутники Юпитера образуют миниатюрную планетную систему, подобную системе Коперника. В 1611 г. на фазах Венеры он неоспоримо доказал, что эта планета совершает (приблизненно) круговое движение вокруг Солнца, а также то, что она, подобно Земле и Луне, не излучает собственного света, а только отбрасывает солнечный свет. Пепельно-серый свет части Луны, не освещаемой Солнцем, был для него доказательством того, что Земля, если смотреть на нее извне, подобно другим планетам кажется светящейся. Второй его заслугой было ясное понимание того, что законы движения относятся не к системе отсчета, связанной с Землей, а к коперниканской системе отсчета. Когда Галилей говорит о падении, или, более общо, о движении по направлению к Земле, то он уточняет,

что об этом можно говорить только приближенным образом, так как, строго говоря, свободно падающее тело вследствие вращения Земли отклоняется от вертикали. Даже теперь еще физика позволяет себе при обсуждении большинства опытов то же самое приближение, значение которого вполне известно. И в то же время Галилей не переставал опровергать динамические возражения против учения Коперника на основе полученных им новых результатов. Но лишь благодаря работе Ньютона стало совершенно ясно, что движение планет можно понять динамически только на основе системы отсчета Коперника.

Другие законы природы — оптические, электрические и т. д. — в этой системе находят простую формулировку; но это является, конечно, дальнейшим, чисто эмпирическим выводом.

Вопрос о системе отсчета был разрешен, таким образом, только практически, но не принципиально. Каковы физические основы преимущества системы отсчета Коперника над другими системами отсчета, например над системой, связанной с Землей? Ньютон, который вполне понимал трудность этого вопроса, искал помощи в допущении наряду с «абсолютным» временем также «абсолютного» пространства, которое давало верную систему отсчета. Но вместе с Людвигом Ланге (1863—1936) *) оба понятия надо охарактеризовать как не подлежащие восприятию, «призрачные»; несмотря на это, они еще и теперь продолжают существовать во многих головах.

Сомнительность этой идеи побуждала к размышлению всех великих философов эпохи Ньютона, например Лейбница и Канта. Лишь в 1886 г. было произнесено освобождающее слово Ланге в его работе «Историческое развитие понятия движения». Он пишет: «Физика определяет свою систему отсчета соответственно той функции, которую последняя должна выполнять,

*) Краткую биографию Людвиг Ланге дал М. Лауэ в *Naturwissenschaften* 35, 193 (1948).

и, следовательно, исходит из той же точки зрения, которая лежит в основе определения времени». Ланге резюмирует результат своего рассуждения в двух определениях и двух теоремах *):

О п р е д е л е н и е I. Инерциальной системой называется любая координатная система, по отношению к которой траектории трех материальных точек, выходящих из одного пункта пространства и затем предоставленных самим себе, прямолинейны (точки не должны лежать на одной прямой).

Т е о р е м а I. Прямолинейной по отношению к инерциальной системе является также траектория любой четвертой, самой себе предоставленной точки.

О п р е д е л е н и е II. Инерциальной шкалой времени называется любая шкала времени, по отношению к которой свободная материальная точка проходит в своем движении по инерции в равные промежутки времени равные расстояния.

Т е о р е м а II. По отношению к инерциальной шкале времени любая материальная точка, движущаяся по инерции, в равные промежутки времени проходит равные расстояния.

Определения являются человеческими соглашениями, но теоремы — эмпирическими предложениями; лишь они сообщают определениям физическое значение. Истинность системы Коперника основана на эмпирической значимости теорем.

Конечно, нельзя из наблюдения движения материальных точек, не подверженных действию силы, сделать вывод о том, что система Коперника является инерциальной системой. Полноценным доказательством являются вычисление путей планет на основе содержащей закон инерции механики и достигнутое таким путем согласие с опытом. Мы уже упоминали в главе I, что для достижения этого соответствия с опытом надо сделать некоторые небольшие поправки к обычно упо-

*) Мы цитируем по работе Ланге в *Philosophische Studien* 3, 539 (1885—1886).

требуемой шкале времени, которые переводят ее в инерциальную шкалу времени.

Таким образом, через 350 лет после Коперника мы находим, наконец, у Людвига Ланге определенное завершение линии развития, исходившей из учения Коперника.

Вышеуказанными определениями исключаются многие другие мыслимые системы отсчета, например любая система, которая вращается с постоянной скоростью по отношению к астрономической системе отсчета. Тело, покоящееся в подобной системе, будет испытывать, как указал еще Ньютон, центробежную силу, не содержащуюся в уравнениях движения. Эта сила фактически является лишь другим выражением стремления к прямолинейному движению по отношению к инерциальной системе. Для связанной с Землей, следовательно, вращающейся системы отсчета эта центробежная сила проявляется, например, в сплющивании Земли. Вращение плоскости колебания маятника в произведенном в 1851 г. опыте Фуко (1819—1868) также, несомненно, указывает на вращение Земли, т. е. на неоправданность земной системы отсчета. Вторым доказательством является установка вращающегося компаса в северно-южном направлении (в 1925 г. Майкельсон доказал то же самое посредством опыта с интерференцией света).

Но динамика дает возможность вывести из *одной* инерциальной системы другие. Равноправными являются все системы отсчета, которые по отношению к ней перемещаются с постоянной скоростью. Это было хорошо известно Ньютону; еще Галилей в своей защите учения Коперника против распространенных возражений ссылался на то, что в закрытом пространстве внутри движущегося корабля никаким механическим опытом нельзя обнаружить движение корабля.

Координаты, определяющие положение материальной точки в любой из инерциальных систем,

вычисляются по простой формуле из координат данной точки в одной из этих систем, причем, конечно, ввиду наличия относительного движения обеих систем требуется еще знать время для перехода от одной системы к другой. Оно остается непреобразованным и в этом смысле является «абсолютным». В подобных системах, правда, различаются скорости материальных точек, но ускорения — одни и те же. Поэтому закон движения имеет значение в обеих системах в одинаковой форме. Если дается единственная инерциальная система, то можно ее принять за абсолютную систему отсчета и движение относительно нее — за «абсолютное» движение. Но так как этого не бывает, то говорят о принципе относительности ньютоновской механики. Согласно этому принципу механические опыты не допускают никакого преимущества одной инерциальной системы перед другой.

Однако долгое время предполагали, что преимущество какой-либо системы будет возможно установить другими экспериментами и наблюдениями, а именно теми, в которых изучаются физические действия, распространяющиеся с конечной скоростью; ведь скорости в различных инерциальных системах различны. Эта мысль была важна прежде всего для оптики. Любая теория, которая считала эфир носителем света (сюда относится и электронная теория; гл. 4 и 5), должна была рассматривать систему отсчета, в которой эфир находится в покое, как предпочтительную перед всеми другими системами. Поэтому такая система отсчета определялась как абсолютная. Всегда неявно принималось, что это будет инерциальная система в смысле механики.

В самом деле, открытая в 1728 г. Дж. Брэдли (гл. 4) абберрация звезд допускает простое объяснение, заключающееся в том, что свет в астрономической системе отсчета распространяется по всем направлениям с одной и той же скоростью, измеренной Олафом

при условии, что наблюдатель находится в покое, ускорение не зависит от скорости, и т.д.

Рёмером. Скорость света относительно Земли получается векторным вычитанием скорости Земли. В 1818 г. О. Френель предсказал, а в 1871 г. Джордж Бидел Эйри (1801—1892) экспериментально подтвердил казавшееся прежде парадоксальным положение, что наполнение телескопа водой, следовательно, изменение скорости света внутри трубы телескопа, не влияет на аберрацию. Теория Фрепеля перестала быть спорной и привела к точному, экспериментально подтвержденному в 1851 г. Физо значению скорости распространения света в движущихся телах. Если распространение света и движение тела имеют одинаковое или противоположное направления, то скорость тела прибавляется или вычитается из скорости света не полностью. Ей приписывается уменьшающий ее величину множитель—френелевский коэффициент увлечения. Так был дан очень ценный пробный камень для всех последующих теорий оптики движущихся тел.

Опыт Физо долгое время рассматривался как поразительное доказательство существования эфира, проникающего все тела, но не принимающего участия в их движении. Только так можно было понять этот коэффициент Френеля. Теория относительности опровергла этот аргумент. Она доказала, что рассматривавшееся как само собой разумеющееся сложение или вычитание скоростей неправомерно при данных условиях. Таким образом, история опыта Физо является поучительным примером того, какую большую роль в объяснении каждого опыта играют элементы теории; их нельзя даже отделить от него. И если потом теории меняются, то опыт превращается из поразительного доказательства для одной теории в такой же сильный аргумент для противоположной теории.

Но старое представление об аддитивности скоростей света и тел, впрочем, все же сохранилось. Христиан Допплер (1803—1853) на основании волновой теории вывел в 1842 г. заключение, что приближение источника света к наблюдателю увеличивает наблюдаемую частоту, отдаление уменьшает ее. Трудный для

понимания эффект Допплера в течение нескольких десятилетий встречал ожесточенное сопротивление, несмотря на подтверждение, которое он получил в области акустики (гл. 2). Это сопротивление отчасти объясняется действительно спорными астрономическими применениями этого принципа Допплером. И все же Допплер был по существу прав, и астрономия первая дала экспериментальное подтверждение этого принципа. В 1860 г. Эрнст Мах (1838—1916) предсказал, что линии поглощения в спектрах звезд, связанные с самой звездой, должны обнаруживать эффект Допплера; но наряду с ними в этих спектрах существуют линии поглощения земного происхождения, не обнаруживающие эффекта Допплера. Первое соответствующее наблюдение удалось произвести в 1868 г. Вильяму Хюггинсу (1824—1910). В настоящее время точность таких наблюдений при благоприятных условиях так велика, что можно измерить лучевые скорости в $3 \cdot 10^4$ см/сек, в то время как эти скорости могут достигать величины до 10^7 см/сек. Лабораторное доказательство эффекта Допплера было дано в 1905 г. Иоганнесом Штарком, пользовавшимся в качестве источника света канальовыми лучами, т. е. светящимися атомами, которые в электрических газовых разрядах приобретают скорости до 10^8 см/сек; в этих опытах доплеровские смещения спектральных линий получаются гораздо большими, чем в астрономических наблюдениях. В 1919 г. К. Майорана проверил эффект Допплера на источниках света, механически движущихся со скоростью порядка $2 \cdot 10^4$ см/сек.

Как ни важны абберация и эффект Допплера, но они не отвечают на вопрос, существуют ли несколько систем отсчета, равноправных с точки зрения оптики. Как показывает более точное рассмотрение, эти явления вообще не зависят от скоростей источника света и наблюдателя по отношению к системе отсчета, а за-

висят только, по крайней мере в первом приближении, от относительной скорости источника света и наблюдателя по отношению друг к другу. Если бы наблюдения смогло обнаружить влияние скорости, общей для всех участвующих тел, то было бы доказано существование привилегированной системы отсчета. Но в подобном опыте эта скорость вступает в конкуренцию со скоростью света; результат зависит от их отношения, которое является всегда маленьким числом. Поэтому такие наблюдения трудны уже тогда, когда занимают эффект первого порядка, т. е. величинами, пропорциональными этому отношению; тем более они трудны в случае эффекта второго порядка, при котором в рассмотрение входит квадрат этого отношения. Для случая движения Земли вокруг Солнца это отношение равно 10^{-4} . Подобными экспериментами пытались установить «эфирный ветер» по отношению к движущейся Земле. После 1839 г., когда Жак Бабинэ (1794—1872) исследовал влияние движения Земли на явления интерференции, было много других аналогичных попыток. Но все они давали отрицательные результаты. Большинство опытов касалось эффектов первого порядка и не давало возможности решить вопрос о системе отсчета, пока в 1895 г. Г. А. Лорентц не доказал на основе электронной теории, что вообще не может быть таких электромагнитных и оптических эффектов первого порядка. Тем большее значение получили немногие опыты, в которых исследовались эффекты второго порядка. Между ними теоретически самым простым и экспериментально точным является опыт Майкельсона. Он непосредственно сравнивает относительные скорости света по отношению к Земле в различных направлениях. «Эфирный ветер», если он существует, должен обусловить различия между ними.

Эту мысль и первое еще несовершенное опытное выполнение ее А. А. Майкельсон опубликовал в 1881 г. После того как в 1884 г. Г. А. Лорентц отметил недостатки этой работы, Майкельсон и Морли в 1887 г. выступили с повторным опытом, который имел уже

достаточную точность. Значительно дальше пошли в 1904 г. Морли и Миллер; они смогли ручаться, что наблюдаемый эффект не составлял $1/100$ предсказанного вычислением результата. Правда, после 1920 г. казалось, что Миллер на больших высотах над уровнем моря получил положительные результаты. Однако они были внутренне противоречивы и, кроме того, были опровергнуты в 1926 г. Кеннеди, а также в 1926—1927 гг. многочисленными повторными опытами, выполненными А. Пикаром и Э. Стахелем. В 1927 г. К. К. Иллингворт и в 1930 г. Г. Иоос достигли такой высокой точности, что «эфирный ветер» должен был бы быть заметным при скорости от 1 до 1,5 км/сек, если бы была правильна теория преимущественной системы отсчета.

Под влиянием опыта Майкельсона и других подобных опытов возникла специальная теория относительности, открывшая новую эпоху для проблемы системы отсчета. Она утверждает как закон природы существование бесконечного множества инерциальных систем, движущихся с постоянными скоростями друг относительно друга и эквивалентных для *совокупности всех явлений природы*. При переходе от одной системы к другой нельзя, конечно, поступать, как в ньютоновской механике, в которой время не преобразовывается и сохраняет свою величину для всех систем. Поэтому механика и нуждалась в упомянутом во второй главе изменении. Чтобы выразить тот факт, что согласно опыту Майкельсона свет в *любой* инерциальной системе распространяется по всем направлениям с одинаковой скоростью, применяется одновременное преобразование координат пространства и времени. Это «лорентцево преобразование» ведет, например, к закону, что всякое тело, которое движется по отношению к инерциальной системе, оказывается короче в направлении движения по сравнению с тем, каким оно было бы, если бы покоилось. Правда, это укорочение в слу-

чае малой скорости очень незначительно. Если же скорость приближается к скорости света, оно делается значительным. Длина тела в направлении движения должна становиться бесконечно малой, по мере того как скорость приближается к скорости света. Другое следствие этой теории: скорость света является высшим пределом не только для скоростей всех тел и для распространения всех физических действий в пространстве, но также для всех относительных скоростей инерциальных систем друг относительно друга. Тем самым скорость света выступает из рамок оптики и электродинамики и получает универсальное значение для всех явлений природы. Исторической случайностью является то, что человечество впервые встретилось с этой скоростью при изучении света.

В 1887 г. Вольдемар Фойгт (1850—1919) заметил в одной из своих работ, что вышеуказанное преобразование ведет от одной справедливой для оптики системы отсчета к другой, подобной же системе. В 1900 г. Анри Пуанкаре (1854—1912) пояснил это остроумным мысленным опытом. В 1904 г. эта мысль укрепилась под влиянием электродинамики Лорентца, который уже применял релятивистски измененную механику (гл. 2). Но исходным пунктом всех предшественников теории относительности было все же то, что электромагнитные и оптические процессы протекают так, *как будто бы* это преобразование ведет опять к приемлемой системе отсчета. Лорентц, например, установил различие *expressis verbis* между собственным временем, непосредственно применяющимся в привилегированной системе отсчета, абсолютным временем и «местным временем», которое вычисляется из абсолютного времени и пространственных координат для других систем отсчета. Решающий поворот, отказ от «как будто бы», совершил в 1905 г. А. Эйнштейн. На основе глубокого воззрения на сущность пространства и времени он высказал мнение о *полном* равноправии всех систем отсчета, полученных с помощью преобразования Лорентца из одной допустимой системы, и, следовательно,

равноправии всех относящихся к этим системам измерений пространства и времени. Чрезвычайно интенсивная полемика против теории относительности возникала зачастую из-за недостатка глубокого воззрения у оппонентов. Новая принципиальная установка привела Эйнштейна к вершине всего здания теории относительности — к закону инертности энергии (гл. 2).

Материальный носитель света, эфир, несовместим с теорией относительности. Он дал бы, как было сказано, предпочтение одной определенной системе отсчета. Взгляд Фарадея — Максвелла на электромагнитное поле как на изменение состояния эфира становится также неприемлемым. Не оставалось ничего иного, как усмотреть в электромагнитном поле самостоятельную физическую реальность.

Другое следствие из лорентцовского преобразования гласит, что движущиеся часы идут медленнее покоящихся. В качестве «часов» можно рассматривать периодические колебания в атомах, порождающие спектральные линии. Правда, этот эффект мал, второго порядка, и потому его трудно обнаружить. Скорости каналовых лучей оказались все же достаточными, чтобы его констатировать. «Квадратичный эффект Допплера» переплетается с классическим эффектом Допплера; его фактически наблюдали в 1938 г. Г. Айвс и Г. Р. Стивел, в 1939 г. Г. Отинг.

Специальная теория относительности, о которой здесь идет речь, явилась итогом продолжавшегося в течение столетия развития. Именно поэтому она не поставила перед экспериментальным исследованием новых проблем. Все опыты, произведенные с тех пор, являлись только улучшением прежних опытов. Мы выше уже упоминали о повторениях опыта Майкельсона. Укажем еще на электромеханический опыт, предложенный в 1903 г. Фр. Т. Трутоном и Г. Р. Ноблем, точность которого была поднята в 1926 г. Р. Томашеком до уровня точности опыта Майкельсона. Заряженный электростатический конденсатор, подвешенный так, чтобы он мог вращаться, должен был, согласно элек-

тронной теории, поворачиваться вследствие вращения Земли, но само собой разумеется, что согласно теории относительности такое вращение не должно было происходить. Вычисленный на основе электронной теории результат оказался малой величиной второго порядка. Несмотря на это, упомянутые исследователи убедились, что вращения действительно не было.

Перед математиками и теоретиками-физиками встала трудная задача. Они должны были приспособить к теории относительности все ветви физики, например, теорию упругости, гидродинамику, термодинамику и относящиеся к веществу части теории Максвелла. Изящную математическую формулировку теории относительности дал Герман Минковский (1864—1909), который незадолго до смерти ввел время как четвертую координату, равноправную с тремя пространственными координатами. Но это — только очень ценный и искусный математический прием; в противоположность существующему мнению, ничего более глубокого здесь не скрывается. В 1911 г. Макс Лауэ дал первое синтетическое изложение специальной теории относительности.

Но Эйнштейн не остановился на специальной теории относительности. С измерением пространства дело обстоит так же, как с измерением времени (гл. 1). Перед нашим созерцанием лежит континуум, и мы должны внести туда систему мер; но эта система в связи с трехмерностью пространства сложнее. В принципе существует бесконечно много равноправных методов измерения. Математики используют это многообразие, когда они свободно создают неевклидовы геометрии. Но физика должна это многообразие ограничить выбором той геометрии, которая даст возможность *простого* изложения законов природы. Смысл вопроса в том, какая геометрия *соответствует опыту*. Когда, например, Гаусс, с целью испытать значимость евклидовой геометрии, путем геодезических измерений

(следовательно, оптически) исследовал, действительно ли сумма углов в треугольнике Брокен — Инсельсберг — Высокий Гаген равна 180° , как утверждает эта геометрия в противоположность другим, он неявно допускал для простоты, что лучи света следуют по геодезическим («наикратчайшим») линиям. Если от этого отказаться, то невозможно будет вывести геометрическое заключение из результата опыта, подтверждающего эту сумму углов.

В то время как до сих пор физика была вполне удовлетворена евклидовой геометрией, общая теория относительности Эйнштейна, которая постепенно развивалась с 1913 г., утверждает, что для объяснения тяготения необходимо пользоваться неевклидовой, «римановой» геометрией. Отклонения от евклидовой геометрии минимальны даже вблизи таких больших масс, как Солнце, и проявляются только в очень немногих наблюдениях. Это, во-первых, не объясненный теорией движения планет остаток движения перигелия Меркурия (гл. 3); во-вторых, отклонение света Солнцем, которое, согласно наблюдениям Артура Стенли Эддингтона (1882—1944) во время солнечного затмения в 1919 г., точно соответствует предсказанию Эйнштейна. Последующие наблюдения затмений доставили, правда, несколько большую величину. В-третьих, нужно усмотреть подтверждение теории в новых спектральных наблюдениях, особенно касающихся плотной звезды — спутника Сириуса, в спектре которой линии значительно смещены в красной части спектра по отношению к их положению в земном спектре.

Общая теория относительности еще не закончена; но за ней останется на все времена слава предсказания отклонения света без применения специальных *ad hoc* сделанных допущений *).

*) Посредством подобных допущений также предсказывали отклонение света.



ГЛАВА 7

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О ТЕПЛОТЕ

Уже в донаучном опыте было известно различие между теплыми и холодными телами и уравнивание, которое наступало при соприкосновении различно нагретых тел. Было известно даже, что если тело A находится в тепловом равновесии с двумя другими телами, B и C , то B и C также находятся в равновесии между собой. Это эмпирическое знание еще до появления собственно научного исследования привело к установлению «степеней теплоты» на одномерной шкале, т. е. к созданию качественного понятия температуры, при котором можно было говорить о более высокой или более низкой температуре, не связывая ее с мерой и числом.

С возникновением научного исследования появилась потребность измерять температуру количественно. Галилео Галилей (1564—1642), Евангелиста Торричелли (1608—1674), Отто Герике (1602—1686) и многие их современники стремились построить термометры; в основу они положили тепловое расширение жидкостей и газов, которым в большинстве случаев пользуются и сейчас. Правда, в этих первых термометрах не были устранены многие побочные влияния, например влияние давления воздуха, и поэтому они давали лишь условно применимые результаты. Приходилось также сталкиваться с техническими трудностями согласования показаний термометров одной и той же конструкции. Первым, кто преодолел эти трудности и всякие нарушающие влияния и тем самым стал основате-

*яму же (какой) - много раз. и
е. - ? ? ?*

лем термометрии, был Габриэль Даниэль Фаренгейт (1686—1736), работы которого относятся к 1709 г. Его конструкция применяется и теперь в комнатных термометрах. Это было первым шагом науки о теплоте.

Эти термометры давали возможность установить постоянные метки на температурной шкале, что было чем-то подобным открытию линий Фраунгофера в спектре (гл. 4). Эти метки сопоставлялись с числами, но всегда оставалась одна проблема, имеющая сходство с проблемой измерения времени, несмотря на чисто эмпирический характер понятия температуры. Ведь в обоих случаях — так же, как и в случае спектра — физика стоит перед одномерным континуумом и должна охватить его мерой и числом. И здесь ведущим является стремление приспособить эту систему мер для возможно более простой формулировки законов природы.

Но более старые температурные шкалы были все без исключения произвольными. Произвольным являлось уже то, что именно тепловое расширение использовалось для измерения температуры. Ведь эту роль могли выполнять и другие свойства тел; для высоких или крайне низких температур в настоящее время часто вместо расширения применяют электродвижущую силу термоэлементов или электрическое сопротивление болометрической проволоки. При использовании теплового расширения произвол заключался и в выборе термометрического вещества: ртути, спирта, газа. Произвол отчасти был устранен, когда применили «идеальные газы»; их тепловое расширение происходит одинаково, как показали измерения, опубликованные в 1801 г. Джоном Дальтоном (1766—1844) и в 1802 г. Жозефом Луи Гей-Люссаком (1778—1850). В 1842 г. с повышенной точностью их подтвердил Генрих Густав Магнус (1802—1870) и независимо от него Анри Виктор Реньо (1810—1870). Здесь имеют дело, по крайней мере, со свойством *не одного* тела. Для этой проблемы является второстепенным, принимается ли за нулевую точку шкалы температура определенной охлаждающей

смеси, как это делает Фаренгейт, или точка замерзания воды, как это делают Рене Реомюр (1683—1757) и Андерс Цельсий (1701—1744). Другой фиксированной точкой считается температура кипящей воды: 212, 80 или 100 градусов. Проблема была решена лишь в 1854 г. вторым законом термодинамики, о котором будет речь в главе 9. Он позволил ввести естественную температурную шкалу для измерения количеств теплоты.

Второй большой шаг в учении о теплоте сделал вскоре после 1760 г. Джозеф Блэк (1728—1799), который ясно указал на различие между количеством тепла и температурой. Единица количества теплоты — калория — была определена как количество теплоты, которое нагревает один грамм воды на один градус Цельсия. Согласно этому определению она зависит от измерения температуры, но только кажущимся образом. Открытие Майером в 1842 г. эквивалентности теплоты и энергии дало возможность измерять количество теплоты механическими единицами. Таким образом, измерение температуры принципиально было также сведено к механическому измерению. Классическим инструментом для измерения количества теплоты является ледяной калориметр, описанный в 1780 г. Антуаном Лораном Лавуазье (1743—1794) и Пьером Симоном Лапласом (1749—1827). Понятия удельной и скрытой теплоты при таянии и испарении были введены независимо друг от друга Блэком и И. К. Вильке.

Остановимся несколько подробнее на определении, которое дает температуре второе начало термодинамики. При этом рассматривают обратимый круговой процесс, в котором тело сначала расширяется изотермически, получая определенное количество тепла, а потом продолжает расширяться без получения или отдачи тепла, затем при отдаче тепла изотермически

сжимается и, наконец, испытывает дальнейшее сжатие без теплового обмена с окружающей средой как раз таким образом, что возвращается в начальное состояние. Согласно определению, температуры обоих изотермических изменений состояния относятся между собой как полученное количество тепла к отданному. Закон устанавливает, что это отношение не зависит от рода тела, которое подвергают круговому процессу. Температура определяется с помощью коэффициента пропорциональности, который выбирают таким образом, чтобы разность температур между точками замерзания и кипения воды равнялась 100 градусам. Так получается абсолютная термодинамическая температурная шкала; для Германии она закреплена в качестве официальной шкалы государственным законом от 7 августа 1924 г. Измерения показывают, что точка замерзания воды по этой шкале соответствует 273 градусам. Для обыденной жизни с этой шкалой достаточно хорошо согласуются данные ртутного и спиртового термометров, имеющих деления по Цельсию.

Оба количества теплоты, посредством которых определяется температура, являются, как показывает опыт, всегда положительными величинами. Не существует никаких отрицательных абсолютных температур; термодинамическая шкала имеет абсолютную нулевую точку. Этого можно было бы избежать, если за меру температуры принять приближенную функцию этой температуры, например ее логарифм, что является вполне возможным, так как не противоречит никакому закону природы. Если так не поступают, то это происходит потому, что в нашем понятии температуры имеется еще конвенциональный элемент, как правильно указал Эрнст Мах (1838—1916). Если бы это сделали, то шкала уходила бы в бесконечность в направлении отрицательной температуры и можно было бы избежать иллюзии, что нельзя дальше охлаждать тело при достижении, скажем, 1°C . Уже теперь достигнуты гораздо более низкие

температуры. Фактически абсолютная нулевая точка недостижима, как это показал в 1906 г. Вальтер Нернст (1864—1941).

Блэк и его современники считали теплоту неразрушимым и несоздаваемым веществом, так как, согласно опыту, при выравнивании температур одно тело получает точно столько же теплоты, сколько другое отдает. Даже в случае созданной Джемсом Уаттом (1736—1819) паровой машины, совершившей в 1770 г. переворот в экономике, сначала никто не признавал, что подведенная к паровому котлу теплота частично превращается в механическую работу и как теплота, таким образом, теряется. Из-за этого заблуждения гениальная интуиция Сади Карно (1796—1832) о том, что работа паровой машины определяется всеобщим законом перехода тепла от более высоких к более низким температурам, сначала не принесла никаких плодов. Лишь после открытия эквивалентности теплоты и энергии Рудольф Клаузиус (1822—1888) смог вывести отсюда второе начало (гл. 9). Уже из этого видно, какой переворот в физике совершил закон сохранения энергии.

Совершенно другим и совсем не простым вопросом является вопрос о практическом применении термодинамической температурной шкалы. Используемый для ее определения круговой процесс есть мысленный опыт, который нельзя выполнить ни в одном случае с полнейшей точностью. Но все же развитие термодинамики дало средства и пути для перехода от других шкал к термодинамической. Мы не будем здесь заниматься этим, но только укажем, что при измерении высоких температур с большим успехом используют тепловое излучение, тем более, что оно связано с температурой источника излучения простыми и теоретически хорошо обоснованными законами (гл. 13). Таким путем приходят также к определению температур звезд, что имеет величайшее значение для астрономии.

Старейшими средствами понижения температуры были охлаждающие смеси и охлаждение быстро испаряющихся жидкостей. Когда такого рода возможности были исчерпаны, их место постепенно заняло открытое в 1852 г. Джемсом Прескотом Джоулем (1818—1889) и Вильямом Томсоном (позднее лорд Кельвин, 1824—1907) и по их имени названное явление. Предварительно достаточно охлажденный газ при выпуске через насадку переходит из области более высокого давления в область более низкого давления и при этом происходит небольшое охлаждение. Отсюда постепенно развилась в XIX столетии холодильная техника, для промышленного развития которой особенно много сделал Карл Линде (1842—1934). Характерной частью холодильной машины является «противоток», в котором уже испытывавшие расширение и охлаждение части газа охлаждают те части газа, которые еще не испытывали расширения. Можно этот процесс продолжать до тех пор, пока будет достигнута критическая температура и газ будет частично превращен в жидкость. Таким способом в 1883 г. Зигмунд Флорентий Вроблевский (1845—1888) и Карл Станислав Ольшевский (1846—1915) достигли ожижения в значительных количествах «постоянных» газов — кислорода и азота; в 1898 г. Джемс Дьюар (1842—1923) произвел ожижение водорода, а в 1908 г. Камерлинг-Оннес (1853—1926) осуществил чреватое большими последствиями ожижение гелия (гл. 5). Тем самым был превращен в жидкость последний «постоянный» газ.

Если заставить кипеть одну из этих жидкостей под сниженным давлением, то можно получить температуры значительно более низкие, чем температуры ожижения. У водорода приходят приблизительно к 10° , у гелия к $0,7^{\circ}$ абсолютной температуры.

Используя понятие температуры и представление о неразрушимости количества тепла, Жан Батист Био

(1774—1862) в 1804 г. и в более законченной форме Жан Батист Джозеф Фурье (1768—1830) в 1807 и 1811 гг. основали математическую теорию теплопроводности. Созданные ими для этой цели методы являются классическими вспомогательными средствами математической физики; это относится прежде всего к изображению произвольных функций в виде рядов или интегралов синусоидальных функций. В теории любого волнового процесса, будет ли это звук, волны на поверхности жидкостей или электромагнитные колебания, играет важную роль созданное Фурье разложение на чистые синусоидальные колебания, тем более, что каждый акустический резонатор, каждый оптический спектральный аппарат совершают это разложение автоматически (до известной степени). В дополнение к этому математика создала разложение функций в ряды «ортогональных» функций, которые теперь имеют огромное значение для решения уравнения Шредингера (гл. 14).

Труд Фурье является примером того, как требования физики вызывают фундаментальный математический прогресс.



ГЛАВА 8

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Закон сохранения энергии исторически возник в механике. Уже Галилей применял его, но скорее интуитивно, а не как результат наблюдения. Он указывал, что достигнутая при падении скорость тела позволяет ему подняться на первоначальную высоту, но не выше. Гюйгенс обобщил это положение для центра тяжести системы падающих тел. Лейбниц придал этому принципу в 1695 г. такую форму: произведение силы на путь дает увеличение «живой силы» (*vis viva*). Ньютон не придавал этому понятию особого значения. Напротив, Иоганн Бернулли (1667—1748) часто говорит о сохранении живых сил (*conservatio virium vivarum*) и подчеркивает, что при исчезновении живой силы не теряется способность работы, но она только переходит в другую форму. Леонард Эйлер (1707—1783) знал, что при движении материальной точки под влиянием центральной силы живая сила всегда одна и та же, когда точка находится на определенном расстоянии от центра тяжести. К 1800 г. уже было твердо установлено, что в системе материальных точек, между которыми действуют центральные силы, живая сила зависит только от конфигурации и от некоторой функции сил, определяемой этой конфигурацией. Термин «энергия» для живой силы применил в 1807 г. Томас Юнг (1773—1829), а понятие «работа» — в 1826 г. Жан Виктор Понселе (1788—1867).

Затем была установлена невозможность построить чисто механически *perpetuum mobile*. Что это не может

быть достигнуто также никакими другими средствами, было в конце XVIII столетия, пожалуй, всеобщим убеждением; по крайней мере, Французская Академия решила в 1775 г. не принимать больше на рассмотрение мнимых решений этой проблемы. Какой положительный выигрыш получила наука из этого так отрицательно звучащего воззрения, показало, однако, лишь XIX столетие.

Первый, кто поставил в связь теплоту с работой, был Сади Карно, который, однако, ошибочно считал, что теплота есть неизменная по количеству субстанция (гл. 7). Лишь в 1878 г., когда закон сохранения энергии был уже давно признан, была издана забытая статья рано умершего Карно, в которой он отказался от этого ошибочного исходного пункта и без вывода дал вполне правильно механический эквивалент теплоты. На ход истории Карно больше влияния не имел *).

Давно было известно, что при трении тел их температура повышается. Теория, рассматривавшая теплоту как субстанцию, пыталась объяснить этот факт всевозможными гипотезами о трении. Они были опровергнуты Вениамином Томсоном (позднее граф Румфорд, 1753—1814). В 1798 г. он довел до кипения довольно большое количество воды, приводя при помощи лошадей во вращение тупое сверло в канале ствола пушки; теплоемкость металла не испытала изменения, требуемого теорией субстанциональности теплоты. Гемфри Дэви (1778—1829) доказал в 1799 г. то же самое, подвергая посредством часового механизма трению два куска металла под воздушным насосом.

В первые десятилетия после 1800 г. **) можно часто встретиться с идеей, что существует «сила», которая

*) См. об этом P l a n k, Das Prinzip der Erhaltung der Energie, 2. Auflage, Leipzig und Berlin, 1908, S. 17. Русский перевод: Макс Планк, Принцип сохранения энергии, М.—Л., 1938.

**) См. названное сочинение М. Планка, стр. 23 и 24.

выступает, смотря по условиям, в виде движения, химического сродства, электричества, света, теплоты, магнетизма, причем любая из этих форм может превращаться в остальные. Чтобы превратить эту смутную идею в ясное понятие, надо было найти общую меру этой «силы». Шаги в этом направлении предприняли различные исследователи, каждый в своем роде.

Первым был Юлиус Роберт Майер (1814—1878), врач, «умственным направлением которого было скорее философское обобщение, чем эмпирическое построение» *). В своей короткой статье в мае 1842 г. он применяет к «силе падения», к движению и теплоте положения: «*Ex nihilo nihil fit*» и «*Nihil fit ad nihilum*». Важным было довольно точное указание механического эквивалента теплоты. Как он пришел к этому, он объяснил, правда, только в 1845 г.; его вычисление представляет собой обычное для нас вычисление из разности обеих удельных теплот идеальных газов на основе допущения независимости энергии газа от его объема, не высказанного явно в работе Майера, но фактически подтвержденного в 1807 г. измерениями Гей-Люссака. Почти то же значение получил в 1843 г. Людвиг Август Колдинг (1815—1888) на основании своих опытов с трением; правда, его обоснование общего закона сохранения нам кажется еще более фантастичным, чем у Майера.

В своем втором сочинении Майер уже рассматривает электрические и биологические процессы; в третьем, относящемся к 1848 г., он занимается вопросом о причине солнечного тепла, объясняет накаливание метеоров потерей ими кинетической энергии в атмосфере и применяет закон сохранения энергии к приливам и отливам. Очевидно, Майер сознавал значение своего открытия. Однако на закон сначала не обращали внимания, и он нашел заслуженное признание гораздо позже.

*) Планк, стр. 23 и 24.

Как бы ни относиться к дедукции Майера, во всяком случае надо признать: поскольку задачей физики является нахождение всеобщих законов природы, а постоянство определенных физических величин является простейшей формой закономерности, то поиски постоянных количеств являются не только правомерным, но в высшей степени важным направлением исследования. Это направление постоянно защищалось в физике. В основном благодаря ему мы уже давно убедились в постоянстве количества электричества. Правда, дать окончательное решение того, действительно ли постоянна принятая величина, может только опыт. Подобно закону сохранения электричества, принцип сохранения энергии является также опытным законом. В своем вычислении механического эквивалента тепла Майер действительно пошел по эмпирическому пути. В отношении других областей физики закон сохранения был для него только программой, провести которую он предоставлял другим.

На втором месте назовем Джемса Прескота Джоуля (1818—1889), который написал в начале 1843 г. статью (появившуюся в печати только в 1846 г.) о термических и химических действиях электрического тока. Посредством измерений он установил то, что позднее по праву было названо его именем: теплота, развивающаяся в замыкающей проволоке гальванического элемента, равна, как теперь говорят, тепловому напряжению (*Wärmetönung*) химической реакции, если нет тока *), и эта теплота уменьшается, если ток совершает работу. Вскоре после этого, в 1845 г., он сообщил результаты измерений механического эквивалента теплоты, полученные при превращении механической работы в теплоту иногда непосредственно, иногда посредством электричества, иногда путем сжатия газов.

*) Это, конечно, справедливо лишь тогда, когда элемент при порождении тока не испытывает температурного изменения и когда нет теплового обмена со средой.

ниже, и в то же время в (1845 г.) 22

Герман Гельмгольц (1821—1894) был тем человеком, универсальный ум которого смог полностью охватить универсальное значение закона сохранения энергии. Он пришел к этому принципу от медицины, как и Майер, работ которого он вначале не знал и к результатам исследований которого пришел поэтому независимо от него. В 1845 г. в маленькой статье Гельмгольц правильно установил ошибку знаменитого химика Юстуса Либиха (1803—1873), указав, что нельзя безоговорочно приравнять теплоту сжигания питательных веществ в теле животного теплотам сжигания химических элементов, из которых состоят эти вещества. Одновременно он дал краткий обзор последствий закона для различных областей физики.

Особенно ясное выражение закона Гельмгольц дал в докладе на заседании Берлинского общества физиков 23 июля 1847 г. В противоположность Майеру Гельмгольц признавал, как и большинство его современников, возможность механического объяснения всех явлений природы посредством центральных сил притяжения и отталкивания. Он ошибочно усматривал в нем достаточное и необходимое условие для невозможности *perpetuum mobile*. Но в своих дедукциях он не пользовался этой механистической гипотезой, а выводил различные выражения для энергий непосредственно из принципа невозможности *perpetuum mobile* хотя бы уже потому, что сведение всех явлений к механическим силам не могло быть достигнуто. Поэтому установленные им законы, не связанные с этой ошибочной концепцией, смогли ее пережить. Гельмгольц ввел в механику новое понятие «потенциальной энергии»; он дал также выражения энергии для гравитационных, статических электрических и магнитных полей. Новым являлось также то, что он говорил с энергетической точки зрения о получении токов в гальванических и термических элементах, а также об электродинамике, включая явления индукции. Когда мы теперь вычисляем энергию поля тяготения через произведения масс и потенциалов, энергию электрического поля через произведение

зарядов и потенциалов, мы непосредственно опираемся на работу Гельмгольца.

Мы зашли бы слишком далеко, если бы захотели войти в эти вопросы подробнее; мы не можем также здесь заниматься дальнейшим развитием закона. Упомянем только заключительное определение, которое дал в 1853 г. Вильям Томсон (позднее лорд Кельвин, 1824—1907): «Под энергией материальной системы в определенном состоянии мы понимаем измеренную в механических единицах работы сумму всех действий, которые производятся вне системы, когда она переходит из этого состояния любым способом в произвольно выбранное нулевое состояние». В словах «любым способом» заключается закон природы — закон сохранения энергии.

Рассуждения Гельмгольца 1847 г. не нашли сразу общего признания; его старшие современники боялись возрождения фантазий гегелевской натурфилософии, против которой они давно боролись. Только имеющий большие заслуги в механике математик Густав Якоб Якоби (1804—1851) сразу признал в рассуждениях Гельмгольца законное продолжение хода мыслей тех математиков XVIII столетия, которые преобразовали механику. Но когда около 1860 г. закон сохранения энергии нашел всеобщее признание, он стал, конечно, очень скоро краеугольным камнем всего естествознания.

Особенно в физике отныне рассматривали любую новую теорию прежде всего с той точки зрения, удовлетворяет ли она этому закону. В 1890 г. воодушевление зашло у некоторых ученых, например у выдающегося физико-химика Вильгельма Оствальда (1853—1932), так далеко, что они сделали понятие энергии центральным пунктом мировоззрения («энергетики») или, по крайней мере, стремились вывести из него другие физические законы. Они настолько далеко зашли в своем отрицании второго начала термодинамики, что отрицали различие между обратимыми и необратимыми процессами и, например, переход тепла от более

высокой к более низкой температуре ставили на одну ступень с падением тел в поле тяжести. Планк с незначительным успехом возражал против этого с точки зрения термодинамики. Более действенно возражал Людвиг Больцман с точки зрения атомной теории и статистики. Наконец, «энергетика» исчезла, как многие другие заблуждения, со смертью ее защитников.

Понятие энергии пропикло также в технику. Каждая машина оценивается по ее энергетическому балансу, т. е. насколько вложенная энергия превращается в ней в желаемую форму энергии. В наше время это понятие входит в умственный инвентарь каждого образованного человека.

Учение об энергии не завершилось признанием закона сохранения. Оно до нашего времени продолжало развиваться. Гельмгольц вычислил, как было сказано, энергию электростатических и магнитостатических полей из зарядов и потенциалов. Применение фарадеевской идеи близкодействия побудило Максвелла локализовать эту энергию в пространстве и каждому элементу объема приписать определенную ее долю. Джон Генри Пойнтинг (1852—1914) в 1884 г. развил теорию потока энергии для изменяющихся полей, в которых объемные элементы не сохраняют своей доли энергии, совсем так, как будто бы электромагнитная энергия является субстанцией. Г. Ми показал в 1898 г., что можно перенести это представление на упругую энергию; например, через передаточный ремень, соединяющий паровую машину с рабочей машиной, идет поток энергии противоположно его движению, и когда вместо ремня устанавливают приводной вал, тогда энергия течет параллельно оси вала. Сюда присоединяется расширение Планком (1908) эйнштейновского закона инертности энергии (гл. 2 и 6): с любым потоком энергии связан импульс (в смысле механики). Плотность

импульса, т. е. импульс в единице объема, получается делением плотности потока энергии на квадрат скорости света. В действительности это уже было известно из опыта, впервые проведенного в 1901 г. Петром Лебедевым (1866—1912), относительно давления, оказываемого на тела светом или другими электромагнитными волнами. Именно свет несет импульс. Впрочем, этот закон установили уже в 1900 г. Анри Пуанкаре (1854—1912), Г. А. Лорентц (1853—1928) и другие, ограничиваясь только электромагнитной энергией.

В ньютоновской механике кинетическая энергия играет особую роль; она присоединяется к каждому другому виду энергии как следствие движения. Согласно теории относительности эта особая форма энергии отпадает. Вместо этого любой вид энергии умножается на множитель, зависящий от скорости. Это существенное изменение в наших воззрениях тесно связано с законом инертности энергии; получился бы порочный круг, если бы мы хотели, с одной стороны, свести какую-либо форму энергии к инерции тел и, с другой стороны, инерцию свести к энергии.

Чаще применяют закон инертности энергии в следующей форме: масса тела равна его энергии (в состоянии покоя), разделенной на квадрат скорости света. Сообразно с этим ограничивается значение закона сохранения массы. Получение теплоты или работы, например при сжатии тела, увеличивает его массу; отдача тепла или работы уменьшает ее. Химические реакции, поскольку они протекают с выделением тепла, уменьшают общую массу участников реакции, правда настолько мало, что это уменьшение не поддается даже точнейшему взвешиванию. Поэтому Ландольт (гл. 2) не мог его установить. Но при превращении атомных ядер освобождаются количества энергии, очень

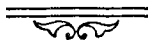
большие по сравнению с массами. Они играют в учении об ядерных превращениях очень существенную роль (гл. 11).

Закон инертности энергии заполняет пробел, который еще имелся в вышеприведенном определении энергии. За нулевую точку энергии принимается произвольно выбранное состояние. Но если сводят любую инертную массу к энергии, то и та, и другая определяются без подобного произвола. Что это сведение соответствует природе, внушительно доказывается тем фактом, что электрон и позитрон могут целиком превращаться в энергию излучения (гл. 14).

Если отвлечься от энергии приливов и отливов, то вся энергия, используемая на Земле до последних лет, возникла, в конечном счете, из солнечного излучения. С открытием закона сохранения энергии поэтому остро встал вопрос о происхождении энергии, постоянно излучаемой Солнцем и звездами. Мысль Майера о сведении этой энергии к кинетической энергии метеоритов, постоянно падающих на эти большие тела, оказалась при ближайшем рассмотрении недостаточной. Гельмгольц указал в 1854 г. на гравитационную энергию той большой шаровой туманности, из которой, согласно космогонии Канта—Лапласа, образовались путем уплотнения Солнце и звезды, — процесс, который в действительности должен превращать эту энергию в другие формы.

Но и этот запас энергии также недостаточен для излучения звезд, пасчитывающих продолжительность жизни в миллиарды лет. Лишь физика атомного ядра (гл. 11) дала нам знание достаточно мощного источника энергии. Высокие температуры внутри звезд делают возможными ядерные реакции, которые мы получаем обычно только в лаборатории с электрически ускоренными частицами. В 1938—1939 гг. К. Ф. Вейцекер и Г. А. Бете показали, что вероят-

ный механизм порождения энергии в звездах состоит в образовании ядер гелия путем соединения элементарных частиц. Это происходит, правда, не непосредственно, но через ряд промежуточных хорошо известных ядерных реакций. Теперь человечество в состоянии, хотя пока еще в скромной степени, пользоваться атомными превращениями как источником энергии непосредственно, а не окольным путем через солнечное излучение (гл. 11).



ГЛАВА 9

ТЕРМОДИНАМИКА

Классическая термодинамика, которую раньше называли механической теорией теплоты, покоится на трех основных законах. Первым является закон сохранения энергии (гл. 8), особенно содержащееся в нем высказывание о том, что теплота есть форма энергии, измеряемая механической мерой. Все его содержание заключается в невозможности *perpetuum mobile*.

Второй основной закон объявляет невозможным осуществление в природе *perpetuum mobile* второго рода, т. е. периодически действующей машины, которая должна только переводить тепло в механическую работу, не вызывая никаких других процессов. Если бы такая машина существовала, то можно было бы непрерывно, без других изменений участвующих тел, переходить от некоторой температуры к более высокой, превращая тепло в работу при более низкой температуре, а затем при более высокой температуре эта работа опять превращалась бы в теплоту. Но уже Карно понимал (гл. 7), что такой некомпенсированный переход от более низкой к более высокой температуре не может быть произведен даже косвенным путем. Первый основной закон правильно вскрыл ошибку Карно, рассматривавшего теплоту как неизменную субстанцию.

Так открылась дорога, по которой в 1850 г. Рудольф Клаузиус (1822—1888) и в 1854 г. Вильям Томсон (позднее лорд Кельвин, 1824—1907) пришли

ко второму закону термодинамики. Подобно тому как первый основной закон вводит функцию состояния — энергию, второй закон в форме, приданной ему Клаузиусом, вводит новую функцию состояния, названную им энтропией. В то время как энергия вполне замкнутой системы остается неизменной, ее энтропия, состоящая из энтропий ее частей, при каждом изменении увеличивается. Идеальный и столь важный для теории предельный случай, когда она остается неизменной, строго говоря, неосуществим. Уменьшение энтропии, как противоречащее законом природы, запрещено даже для мысленного опыта.

Все процессы разделяются на два класса: к одному относятся те, в которых энтропия увеличивается; если бы такие процессы можно было прямо или косвенно обратить, то энтропия уменьшалась бы, что невозможно. Следовательно, они необратимы. Ко второму классу относятся такие процессы, при которых энтропия остается постоянной; они обратимы. В 1834 г. Бенуа Поль Эмиль Клапейрон (1799—1864) ввел в физическую теорию обратимый круговой процесс, который приблизительно осуществляется в паровой машине. Он состоит из отдельных обратимых явлений и в нем имеются две изотермические и две адиабатические ветви (последние происходят без получения или отнятия тепла). Прибавленные или отнятые количества тепла на изотермических ветвях зависят только от температур, при которых происходят эти процессы. Этот факт используется рассмотренным в гл. 7 термодинамическим определением температуры. Разность обоих количеств теплоты (положительная или отрицательная) при обратимом круговом процессе зависит только от обеих температур. Коэффициент полезного действия такой машины зависит от указанной разности температур. При необратимых круговых процессах коэффициент полезного действия *ceteris paribus* *) меньше.

*) При прочих равных условиях.

Таковы некоторые ведущие идеи из начал термодинамики.

Факт сосуществования таких двух независимых друг от друга функций состояния, как энергия и энтропия, позволяет с помощью математического анализа сделать ряд высказываний о термическом поведении тел. Еще более важным оказывается следствие, согласно которому любое равновесие в замкнутой системе должно соответствовать максимуму энтропии. Если можно задать функцию энтропии для различных тел, то можно выразить равновесие между ними. Так, Клаузиус уже дал теорию равновесия для различных агрегатных состояний одного и того же вещества. Термохимическая теория равновесия внесла порядок в почти необозримое разнообразие химических реакций после того, как в 1873 г. Август Хорстман (1842—1929) применил оба основных закона к частному случаю этого рода. Якоб Гендрик Вант-Гофф (1852—1911), Джозайя Уиллард Гиббс (1839—1903) и М. Планк особенно много сделали в этой области; в 1882 г. в эту область включился также Г. Гельмгольц. Удалось связать старое, прежде неясное понятие химического сродства с различиями энергии и энтропии. При этом обнаружилось, что химическое сродство зависит не только от природы реагирующих веществ, но также от температуры и давления. Термодинамика охватила теорию упругости и учение об электричестве и магнетизме, где в большинстве случаев соответствующие явления связаны также с тепловыми эффектами. Короче говоря, не существует, собственно, ни одной области физики, к которой бы термодинамика не имела отношения. Если от нее отвлекаются, то это уже означает идеализирование.

Определения энергии и энтропии вначале были несовершенными, поскольку обе функции состояния вычислялись только по отношению к произвольно выбранному начальному состоянию. Закон инертности энер-

гии заполняет этот пробел. Для энтропии здесь дополнительно появляется третий закон, который сформулировал благодаря гениальной интуиции в 1906 г. Вальтер Нернст (1864—1941). В формулировке Планка этот закон утверждает, что энтропия химически чистого тела при приближении температуры к абсолютному нулю также приближается к нулю. Нернст связал этот закон с наблюдениями над тепловыми эффектами химических процессов. Данное им доказательство, которое вначале не без оснований критиковали, все более и более подтверждалось умножающимися опытами. Следствием этого закона является исчезновение удельной теплоты и коэффициента расширения с приближением температуры к нулю. Особенно важно то, что этот закон дает возможность теоретического предсказания во всех деталях химического равновесия на основе чисто термических измерений, а именно измерений удельных теплот. Этой цели прежде всего служили многочисленные определения удельных теплот при возможно более низких температурах специально для этого изобретенными измерительными методами. Нернст сам проводил такие измерения и заставлял других проводить их. Плодотворность тепловой теоремы Нернста еще долго не будет исчерпана.

Область классической термодинамики обрисована. Ее границы определены существенно необратимыми явлениями, далеко отстоящими от состояния равновесия.

Действительно, второй основной закон дает для них не уравнение, а только неравенство. Современная физика при вычислении энтропии применяет различные специально выработанные методы статистики, которые будут обсуждены в гл. 10. Только теперь обнаружилось истинное значение понятия энтропии. Этим понятием постоянно особенно много занимался М. Планк с самого начала своего научного пути. В классической

термодинамике всегда можно было, при желании, избежать этого понятия, а именно, можно было для каждого отдельного случая изобрести собственный круговой процесс и таким образом повторить для единичного случая общее рассуждение, ведущее к этому понятию, которое необходимо для статистических методов термодинамики.

В процессе открытия Планком закона излучения понятие энтропии играло важную, можно вполне сказать — решающую, роль.



ГЛАВА 10

АТОМИСТИКА

Понятие и термин «атом» возникли в древности. Вопрос о том, какую роль играло это понятие в мышлении Демокрита (460—371 до н. э.) и его последователей, является скорее философским, чем естественно-научным вопросом. Во всяком случае они не связывали это понятие с наблюдениями. Нельзя также, несмотря на знаменитые имена, дать благоприятную оценку литературе, посвященной атомистике, вышедшей в течение нескольких столетий. Исключением является вскоре забытая статья*) Даниила Бернулли (1700—1782) о кинетической теории газов (1738). То, что появилось в этом роде в первой половине XIX столетия, до известной степени оправдывает, по мнению Гельмгольца, нерасположение ко всем теориям, которое проявлял, подобно многим своим современникам, например, заслуженный экспериментатор Г. Магнус (1802—1870).

Современное понятие атома и молекулы создала химия; как — это относится к истории химии. Мы фиксируем здесь три ее достижения, которые физика около 1850 г. могла просто перенять. В работах главным образом Джона Дальтона (1766—1844) было установлено, что атомы одного и того же химического элемента имеют совершенно идентичные свойства, а также дано определение атомного веса элемента как отношения массы одного атома этого элемента к массе

*) В его великом произведении «Гидродинамика».

одного атома водорода. Амедео Авогадро (1776—1856) в 1811 г. дал правило, названное его именем, согласно которому идеальные газы при одинаковых температуре и давлении содержат в единице объема одинаковое количество молекул.

Если отвлечься от излагаемой в главе 12 идеи Л. А. Зеебера о структурах кристаллов (1824 г.), то первой формой физической атомистики является кинетическая теория газов. Около 1850 г. уже была признана эквивалентность теплоты и энергии; в связи с этим и стали рассматривать теплоту как молекулярное движение. С другой стороны, опыты Жозефа Луи Гей-Люссака (1778—1850) в 1807 г., а также аналогичные измерения Дж. Джоуля в 1845 г. подтвердили независимость внутренней энергии идеальных газов от их объемов, что доказывало, кроме того, ничтожность сил, действующих между их молекулами. В 1856 г. Август Карл Крениг и в 1857 г. Рудольф Клаузиус (1822—1888) были вынуждены приписать молекулам газов прямолинейные движения до момента, когда они сталкиваются между собой или со стенкой сосуда. Закон сохранения импульса требовал, чтобы давление газа было пропорционально средней кинетической энергии молекул с некоторым универсальным коэффициентом пропорциональности. С другой стороны, из закона Бойля—Мариотта — Гей-Люссака вытекало, что эта энергия пропорциональна абсолютной температуре, — фундаментальное положение, которое не ограничивается газами и, согласно современной квантовой теории, имеет большие исключения только при очень низких температурах. Одновременно было дано верное вычисление скорости движения молекул. Для молекул водорода при температуре в 300°K она получилась равной $1,9 \cdot 10^5$ см/сек; эта величина была неожиданно высокой и, как вначале казалось, несовместимой с фактом медленной взаимной диффузии газов с их малой теплопроводностью; прямое измерение было произведено О. Штерном лишь в 1920 г. Но в 1858 г. Клаузиус показал, что в этих явлениях имели дело не столько со скоростью молекул,

сколько со средними длинами свободного пробега между двумя столкновениями. Затем в 1860 г. Джемс Клерк Максвелл (1831—1879) на основе собственных измерений внутреннего трения дал числовые значения этих средних путей, объяснившие медленность диффузии газов. В той же самой работе он избавился от произвольной гипотезы о том, что все молекулы обладают одинаковой скоростью, и сформулировал названный по его имени закон распределения скоростей. Доказательство этого закона было усовершенствовано впоследствии им самим и главным образом Людвигом Больцманом (1844—1906) в 1868 г. Сначала закон был недоступен экспериментальному исследованию, и лишь в 1932 г. О. Штерн преодолел все возникшие здесь трудности. Вскоре этот закон стал исходным пунктом для многих обобщений, следствия которых, как мы это увидим дальше, подтверждались измерениями. Основная заслуга, разумеется, принадлежит Максвеллу.

В это же время были получены некоторые ценные результаты относительно размеров и числа молекул газов. Рассматривая молекулы простейших газов как шары, Иосиф Лошмидт (1821—1895) в 1865 г. вычислил их диаметр из средних длин свободного пробега и объема моля газа в жидком состоянии. Он нашел для радиусов молекул правильную величину порядка 10^{-8} см, а для числа молекул в моле 10^{23} . Это число, которое теперь определено гораздо лучше, назвали числом Лошмидта.

Допущение шарообразности и твердости молекул являлось основой всей теории газов и, в частности, доказательства максвелловского распределения скоростей. Постепенно теория стала заниматься молекулами с внутренними степенями свободы, вращением и колебаниями атомов друг относительно друга. Она установила для этих явлений обобщенный закон распределения и вывела из него в качестве важнейшего следствия закон равномерного распределения: средняя кинетическая энергия *любой* степени свободы пропорциональна абсолютной температуре. Коэффициент пропорциональ-

ности — универсальная константа. Вычисление удельной теплоты многоатомных газов на основе этого закона дало результаты, полностью согласные с опытом. В применении к твердому телу закон, найденный в 1820 г. Пьером Луи Дюлонгом (1785—1838) и Алексисом Терез Пти (1791—1820), гласит, что теплоемкость грамм-атома простого тела имеет одно общее для всех тел значение: 6 кал/град . Вместе с этим пришел ответ на вопрос, как распределяются в пространстве молекулы газа под влиянием внешних сил, например силы тяжести. Все это были фундаментальные знания, которые впоследствии оказали влияние на многие другие области.

Основные черты кинетической теории газов были, таким образом, даны. Ничто не изменилось в них, когда М. Кнудсен, используя успехи вакуумной техники, в 1909 г. изучил особые явления при разрежении газов настолько высоким, что не происходят столкновения между молекулами газа. До настоящего времени сохранили свое значение основные черты кинетической теории газов. Важные теоретические исследования Д. Энског (1911) и С. Чэпмена (1917) по термодиффузии и последовавшее в том же году экспериментальное открытие этого явления С. Чэпменом и Ф. В. Дутсоном (1917); открытие К. Клаузиусом и Л. Вальдманом в 1943 г. обратного эффекта, относящегося к тепловым явлениям, связанным с диффузией двух газов, — все эти открытия полностью согласуются с основами, заложенными Клаузиусом, Максвеллом и Больцманом *).

Эти основные черты кинетической теории газов связаны с ньютоновской механикой. Однако с этой теорией в физику вводится и нечто совершенно новое: точка зрения вероятностного рассмотрения. Изучение

*) Термодиффузию в жидкостях наблюдал уже в 1856 г. Карл Людвиг (1816—1895) и в 1880 г. Чарльз Сорет (1854—1904).

зигзагообразных путей отдельных молекул было бы не только безнадежным, но также не имеющим научного значения предприятием. Важными являются *средний* свободный пробег, *среднее* число ударов, которые молекула испытывает в единицу времени. Давление и температура являются *средними* значениями для большого числа молекул.

Значение этой основной черты теории особенно ясно сознавал М. Планк, который концентрированно выразил ее в гипотезе «молекулярного беспорядка». Здесь мы видим преимущество метода Больцмана перед статистической механикой Джозайя Уилларда Гиббса (1839—1903), хотя она иногда проще и применяется не только к газам, а также ведет к закону равного распределения. Именно Больцман смог ввести в теорию газов основное различие между термическими и чисто механическими явлениями, которое неоднократно являлось аргументом против всякой кинетической теории. Механические явления по своей природе обратимы; каждое из них может так же хорошо протекать в обратном направлении; знак времени здесь не играет никакой роли. Наоборот, термические процессы по природе своей так же необратимы, как выравнивание двух различных температур (гл. 9). Если теория газов, опираясь на механику, все же указывает на необратимость этих и других явлений, то это основывается именно на гипотезе молекулярного беспорядка. Аналогия с принципом увеличения энтропии очевидна.

Вершиной дела жизни Больцмана явилась с 1877 г. все более ясно устанавливаемая связь между энтропией и вероятностью — одна из глубочайших мыслей всей физики. Этот принцип Больцмана утверждает: энтропия пропорциональна логарифму вероятности состояния системы, причем коэффициентом пропорциональности служит некий универсальный множитель — так называемая константа Больцмана. Числовое значение этой константы дал, правда, лишь в 1900 г. Планк (гл. 13). Увеличение энтропии, которое выражается вторым законом термодинамики, рассматривается как

переход ко все более вероятным состояниям. Но так как состояние максимальной вероятности близко к состоянию немного меньшей вероятности, то всегда будут встречаться — и это важный новый результат — небольшие, меняющиеся со временем отклонения от него.

Этими термодинамическими колебаниями объясняется открытое в 1827 г. ботаником Робертом Броуном (1773—1858) непрерывное движение взвешенных в жидкостях или газах ультрамикроскопических частиц, истолкованное, несмотря на многие сомнения, как результат теплового движения молекул. Статистическая теория броуновского движения дана в 1904 г. Марианом Смолуховским (1872—1917), а в более завершенной форме А. Эйнштейном. Броуновское движение и многие другие явления статистических флуктуаций дали наиболее убедительные доказательства атомистики и превратили многих скептиков в ее последователей.

Независимо от теории газов атомистика распространилась на учение об электричестве. В 1834 г. Михаил Фарадей (1791—1867) открыл электролитический закон эквивалентности. Этот закон утверждает, что грамм-молекула одновалентных ионов, независимо от природы ионов, несет на себе определенный электрический заряд, а в случае двухвалентных ионов этот заряд вдвое больше, и т. д. После этого открытия многие физики стремились приписать каждому иону один, два и т. д. электрических элементарных заряда. Так поступал, например, Сванте Аррениус (1859—1927) в своей теории электролитической диссоциации (1882). Вальтер Нернст (1864—1941) дополнил ее своей гениальной теорией диффузии в электролитических растворах и учением об электродвижущей силе гальванических элементов. Лармор и Лорентц в «электронной теории» приписали также носителю электрического заряда в

материи элементарный электрический заряд (гл. 4). Термин «электрон» для носителя отрицательного элементарного заряда ввел лишь в 1890 г. Джонстон Стоней (1826—1911).

Особенно большое значение атомистика имела для понимания разнообразных явлений, происходящих при электрических разрядах в газах.

В 1859 г. Юлиус Плюккер (1801—1868) открыл те лучи, которые мы называем «катодными» согласно термину, введенному в 1876 г. Евгением Гольдштейном (1850—1931). В 1869 г. Иоганн Вильгельм Гитторф (1824—1914) обнаружил их отклонение в магнитном поле, и, наконец, в 1871 г. Кромвель Варли (1828—1883) доказал, что их электрический заряд является отрицательным. В 1876 г. Гольдштейн указывал на их отклонения в электрическом поле; однако ни он, ни Варли не смогли дать достаточно убедительное доказательство. Лишь в 1895 г. Жан Перрен (1870—1942) и в 1897 г. Джозеф Джон Томсон (1856—1940) решили вопрос в согласии с выводами Варли и Гольдштейна. Под влиянием блестящих опытов Вильяма Крукса (1832—1919), произведенных в 1879 г., прочно установилось представление, что катодные лучи состоят из частиц, хотя Генрих Герц в 1883 г. на основе опытов, неправильных из-за недостаточной экспериментальной техники, хотел усмотреть в них продольные волны. В 1886 г. Гольдштейн описал каналовые лучи, противоположные катодным лучам. В 1898 г. Вильгельм Вин (1864—1928) определил из измерения отклонений этих каналовых лучей отношение массы к заряду. Он нашел значение, соответствующее порядку величины, вычисленной из фарадеевского закона эквивалентности для электролитических ионов. С 1897 г. некоторые исследователи, в том числе Вин и Дж. Дж. Томсон, а также Джордж Фитцджеральд (1851—1901) и Эмиль Вихерт (1861—1928), показали, что в катодных лучах отношение массы к заряду частиц приблизительно в 2000 раз

меньше, чем у атома водорода. Отсюда, решительно отклонив идею Герца, заключили, что частицы, образующие потоки каналовых лучей, являются обычными электрически заряженными атомами или молекулами; напротив, частицы катодных лучей являются «атомами» отрицательного электрического заряда — электронами.

В конце 1896 г., когда лорентцовская теория эффекта Зеемана (относящегося к спектральным линиям, обусловленным электронами в атомах; гл. 4) привела к тому же значению отношения заряда к массе, существование электронов после сорокалетних усилий было твердо установлено. Оно было подтверждено также в 1899 г. Э. Вихертом, который посредством электрических колебаний измерил прямым путем скорость катодных лучей и получил для отношения массы к заряду результат, полностью соответствующий значениям, полученным из опытов с отклонениями в электрическом и магнитном полях.

Поразительным свойством электронов является их способность проходить через значительные слои твердого вещества. Это заметил уже в 1892 г. Генрих Герц (1857—1894). В 1893 г. Ленард пропустил через «окно Ленарда» электроны из разрядной трубки. Последующие исследования касались главным образом поглощения и рассеяния электронов в веществе. Они еще и теперь не закончены. Особенно могущественным вспомогательным средством оказалась изобретенная в 1912 г. Ч. Т. Р. Вильсоном камера, которая дает возможность непосредственно наблюдать пути заряженных частиц, движущихся в газах, следовательно и электронов. Для объяснения проникающей способности электронов Ленард уже к 1900 г. развил свою динамическую теорию тел, которая имеет много общего с позднее появившейся моделью атома Резерфорда. В то же время, главным образом под руководством Дж. Дж. Томсона, полностью было объяснено прохождение электричества через газы; его причиной являются ионы обоих знаков, а также свободные электроны.

Начиная с 1897 г., многие исследователи старались определить абсолютное значение заряда электрона, а не только его отношение к массе. Порядок величины был установлен уже благодаря известному числу Лошмидта. С другой стороны, был очень точно известен заряд грамм-молекулы одновалентного электролитического иона. Но численные значения для заряда электрона были вначале большей частью равны лишь $\frac{2}{3}$ правильного значения. Интересно бросить ретроспективный взгляд на постепенное повышение значений элементарного заряда с течением времени. Из прямых методов измерения мы считаем теперь лучшим метод, данный в 1907 г. Эренгафтом, примененный в 1913 г. Милликеном и улучшенный им же в 1940 г., — метод парящей в электрическом поле масляной капли, несущей отрицательные элементарные заряды. Этот метод дал значение $4,796 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц. Кроме того, с его помощью подтвердилось, несмотря на многочисленные сомнения, что не существует никаких меньших зарядов, никаких «субэлектронов». Применяются также многие не прямые определения, так как элементарный заряд тесно связан, с одной стороны, с числом Лошмидта, с другой стороны — с константой k Больцмана. Измерения посредством интерференции рентгеновских лучей дают для числа Лошмидта значение $6,0227 \cdot 10^{23}$ и тем самым для элементарного заряда $4,803 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц; различие результатов обоих измерений зарядов не составляет даже 2%. С исторической точки зрения интересно, что Планк в 1900 г. получил на основе своего закона излучения и измерений излучения, осуществленных в то время, значение $4,69 \cdot 10^{-10}$, которое было гораздо выше других известных в то время результатов измерений, но которое, как мы теперь знаем, далеко превосходило их в точности. Впрочем, согласно новейшим измерениям излучения, это значение еще повышается до $4,76 \cdot 10^{-10}$, но его точность не может быть, конечно, сравнима с точностью двух других указанных чисел.

Неделимость, в связи с которой атом получил свое название, имеет место в химических превращениях, а также при соударениях атомов, о которых говорит кинетическая теория газов. Но более глубокие исследователи часто ставили вопрос, не состоит ли атом из меньших частей.

В 1815 г. Вильям Прут (1785—1850) думал, что можно из целочисленности атомных весов заключить, что все атомы состоят из атомов водорода как всеобщей первоматерии. Однако улучшение измерительных методов в течение XIX века привело к таким значительным отклонениям от этой целочисленности, что его гипотеза была погребена. Мысль о внутренней связи между всеми элементами появилась снова, когда в 1869 г. Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907) и Лотар Мейер (1830—1895) независимо друг от друга упорядочили элементы, согласно их химическому поведению, в периодическую систему. Все величие этой гениальной идеи обнаружилось лишь через 40 лет. Действительно, в 1911 г. Эрнст Резерфорд (позднее лорд, 1871—1937) предложил для объяснения рассеяния α -лучей в веществе такую модель атома, в которой положительно заряженное маленькое, но заключающее в себе почти всю массу атома ядро окружено «планетной системой» электронов. Исследования отклонений α -частиц Гансом Гейгером (1881—1945) и Е. Марсденом и особенно исследование рентгеновских спектров Генри Мозли (1887—1915) и другими показали, что место элемента в системе, его атомный номер, определяется числом элементарных зарядов ядра. Периодическая система является просто упорядочиванием элементов соответственно числам ядерных зарядов. Этот вывод сделал уже в начале 1913 г. А. ван-ден-Брук на основе размышлений о радиоактивности. Однако сделанное им допущение, что заряд ядра всегда равен половине атомного веса, не подтвердилось. Почему существует периодичность (хотя и неточная) химических свойств? Это объясняют с точки зрения теории квант В. Коссель и прежде всего Н. Бор (гл. 14).

Современная физика считает неделимыми только немногие элементарные частицы. Одна — это электрон, другая — ядро атома водорода, протон, с которыми исследователи встречались прежде всего при электрических разрядах в газах, например в канальных лучах. В одном и том же 1932 г. Карл Давид Андерсон открыл в камере Вильсона позитрон — частицу с положительным зарядом и массой, приблизительно равной массе электрона, а Чадвик в опытах с радиоактивными явлениями — нейтрон, незаряженную частицу, имеющую почти ту же массу, что и протон. В космическом излучении, открытом в 1910 г. В. Ф. Гессом и вскоре подтвержденном Вернером Кольхерстером (1887—1946), Андерсон в 1937 г. обнаружил, опять-таки с помощью камеры Вильсона, мезон, теоретически предсказанный в 1935 г. Юкавой. Это, повидимому, — частица с коротким временем жизни, имеющая положительный или отрицательный заряд; она приблизительно в 200 раз тяжелее, чем электрон, и, следовательно, в 10 раз легче, чем протон. Но ядро атома состоит из протонов и нейтронов согласно мысли, высказанной в 1932 г., с одной стороны, В. Гейзенбергом и, с другой стороны, И. Таммом и Д. Иваненко; число зарядов ядра дает количество содержащихся в ядре протонов, а число нейтронов таково, что масса всех протонов и нейтронов дает массу атома. В этой теории, возникшей и подтвержденной на основе изучения радиоактивности, вновь воскресла старая гипотеза Прюта.

Возражения, связанные с отклонением от целочисленности атомного веса, давно уже больше не существуют. Открытие изотопии многих видов атомов Фр. Содди (1910) установило кажущийся характер этих отклонений. Сначала Содди приписал изотопию только радиоактивным элементам, но постепенно становилось все яснее, что почти каждое место в периодической системе занято не одним, а несколькими видами атомов, которые, конечно, имеют один и тот же ядерный заряд, поэтому также одинаковый порядок распо-

ложения электронов в атоме и одинаковое валентно-химическое поведение, но отличаются по массе. Атомный вес отдельного вида атома теперь действительно очень близок к целым числам — «массовым числам», поскольку единицей считают теперь не массу атома водорода, а $1/16$ часть массы наиболее часто встречающегося изотопа кислорода. Это изменение — не очень значительное, поскольку теперь атомный вес обычного водорода получается равным 1,00813. но оно имеет принципиальное значение. Химия постоянно имеет дело со смесями изотопов и получает поэтому только средние значения атомных весов элементов; они вычисляются из истинных атомных весов и относительной частоты распространения в природе различных изотопов. Небольшие отклонения атомных весов от массовых чисел, которые еще остаются после этого, объясняются на основе эйнштейновского закона инертности энергии (гл. 2) как следствие потери энергии при соединении протонов и нейтронов в атомное ядро.

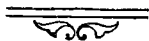
Химическими методами изотопы нельзя разделить. Но можно их разделить, подвергая, например, каналовые лучи действию магнитного и электрического полей; тогда изотопы описывают разные пути, так как они при одинаковом заряде имеют разные массы. Эта «масс-спектрокопия» возникла в 1898 г. в связи с уже упомянутыми опытами Вина по отклонениям в электромагнитном поле. Таким путем Дж. Дж. Томсон дал возбуждавшее сенсацию доказательство изотопности двух видов атома, возникших нерадиоактивным путем, а именно изотопов неона с массовыми числами 20 и 22; с 1919 г. это доказательство было настолько усовершенствовано Ф. Р. В. Астоном, что в 1938 г. уже было известно 260 различных видов атомов (вместо 92 химических элементов). На одном лишь 50-м месте периодической системы, занимаемом цинком, стоят 10 видов атома с массовыми числами от 112 до 124 (химически определенный средний атомный вес равен 118,7). На первом месте стоит вместе с обычным водородом дейтерий, открытый в 1932 г. Г. К. Ури,

имеющий атомный вес 2,014725. С тех пор мы знаем «тяжелую воду», в молекуле которой один или даже оба атома водорода замещены атомами дейтерия. Чтобы точно установить атомные веса и дать твердую основу для заключений о потере энергии при связывании протонов и нейтронов в атомное ядро, необходимо было превратить масс-спектроскопию в точный метод, что сделали А. Дж. Демпстер и особенно Дж. Маттаух.

Среди современных физиков имеет всеобщее распространение убеждение, что не только атомы, которые являются уже довольно сложными образованиями, но также элементарные частицы имеют полную реальность, как и другие вещи внешнего мира. Но даже в XX веке были сомнения в этом. Людвиг Больцман, например, до конца своей жизни страдал оттого, что некоторые ученые не считали созданную им кинетическую теорию газов полноценным физическим методом объяснения. Поворот, который произошел с тех пор, связан с некоторыми новыми знаниями. Мы уже упоминали о термодинамических флуктуациях, как одной из причин этого поворота. Мы могли бы привести еще многое другое, например то, что при интерференции рентгеновских лучей считаются реальными волны рассеяния, возбужденные каждым отдельным атомом, благодаря чему можно построить правильную теорию этого явления (гл. 12). Но больше всего здесь сделала камера Вильсона, которая дала возможность видеть пути отдельных заряженных элементарных частиц или ионизированных атомов и тем самым положила конец всяким сомнениям. Во всяком случае XX век принес полную победу атомистике.

И все же мы должны существенно пересмотреть наши прежние субстанциональные представления об элементарных частицах. Эти представления связаны с идеей неразрушимости и несоздаваемости, когда каждую элементарную частицу рассматривают как

индивидуум, который при всех испытываемых им изменениях все же остается самим собой и если не фактически в опыте, то мысленно в любой момент может быть признан тождественным себе. Это неприменимо, по крайней мере, к электронам и позитронам. Как установлено в 1933—1934 гг. в исследованиях, примыкающих к открытию позитрона, например в работах П. С. М. Блэккета и Г. П. С. Оккиалини, достаточно большой γ -квант при попадании в ядро превращается в электрон и позитрон. И наоборот: при столкновении электрона и позитрона они взаимно уничтожаются, порождая два γ -кванта (Отто Клемперер, 1934). При этом вся их масса — не только масса покоя, но и возросшая с движением масса — превращается в энергию излучения соответственно закону Эйнштейна об инертности энергии. Длину волны этого «излучения аннигиляции» измерил в 1949 г. Дж. Дюмонд при помощи кристалл-спектрометра и получил в соответствии с предварительным вычислением результат: $2,43 \cdot 10^{-10}$ см. Этот полностью подтвержденный во всех своих последствиях результат новейшей физики является самым потрясающим из всего, что когда-либо приносило развитие естествознания.





ГЛАВА II

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Едва ли что-либо другое так способствовало изменению представления об атоме, о котором говорилось в главе 10, как радиоактивность. Открыл ее в феврале 1896 г. Анри Беккерель (1852—1908) в связи с опубликованным в начале января 1896 г. открытием рентгеновских лучей (гл. 4).

Эти лучи исходили, при тогдашнем получении их в стеклянных трубках, из флюоресцирующих частей стенки сосуда; возникла мысль, что их причиной могут быть флюоресценция или фосфоресценция. Поэтому Беккерель испытывал ряд фосфоресцирующих тел под влиянием проникающего излучения, способного действовать на фотографическую пластинку. Он не имел никакого успеха, пока ему не попала соль урана. Но тогда он должен был, конечно, вскоре признать, что найденное излучение не стоит ни в какой причинной связи с фосфоресценцией. То, что он наблюдал, как мы теперь знаем, было действием быстрых электронов. Беккерель обнаружил затем ионизацию воздуха лучами, исходившими из урановых соединений. Все это открыло путь для исследования огромной новой области. Многие сейчас же ринулись в нее, так как благодаря открытию Рентгена созрело время оценить по достоинству значение таких находок.

Среди них были также супруги Пьер Кюри (1859—1906) и Мария Кюри (1867—1934). Они подвергли систематическому исследованию все известные химические элементы в отношении радиоактивности (термин

«радиоактивность» впервые был введен ими). Они нашли ее также у тория (впрочем одновременно с Герардом Шмидтом), но в миллионы раз сильнее она оказалась у двух новых элементов: полония и радия. Аналитико-химическая методика, примененная супругами Кюри при исследованиях элементов на радиоактивность, привела в течение двух следующих десятилетий в руках многочисленных исследователей к открытию других «естественных» радиоактивных элементов. Особенно пополнил их список Отто Ган открытием радиотория (1905), мезотория (1906) и, совместно с Лизой Мейтнер, протактиния (1918). Несколько отличались своим поведением радиоактивные газы, эманации, из которых первую — эманацию тория — открыл в 1900 г. Резерфорд.

Уже в 1897 г. этот великий исследователь различал по проникающей способности два вида радиоактивного излучения: легче поглощаемые α -лучи и более проникающие β -лучи. В то время как последние благодаря их легкой отклоняемости в электрическом и магнитном полях были вскоре отождествлены с электронами, над природой первых Резерфорду пришлось потрудиться более долгое время. Но в 1903 г. он нашел, наконец, посредством опытов с отклонением этих лучей, что отношение их заряда к массе по знаку и величине соответствует дважды ионизованным атомам гелия. Вильям Рамзай (1852—1916) и Фр. Содди установили в 1904 г. поразительное появление гелия в соединениях радия; единственным объяснением могло быть возникновение гелия из радия. Резерфорд и Т. Ройдс подтвердили в 1909 г. идентичность α -частиц и ионов гелия, так как они обнаружили в собранных нейтрализованных α -частицах характерную желтую линию спектра гелия. Так было доказано возникновение элемента гелия из других элементов. В то же самое время постепенно установили, что за небольшими исключениями радиоактивное тело посылает либо α -лучи, либо β -лучи;

обнаруженное в 1900 г. Паулем Виллардом неотклоняемое γ -излучение может быть связано с обоими.

Но открытие Резерфорда не было первым указанием на радиоактивное превращение атомов. Уже в 1903 г. П. Кюри и А. Лабурд произвели сенсацию, обнаружив, что кусок очищенной соли радия всегда имеет более высокую температуру, чем температура окружающей среды. Причиной этого явления считали постоянное порождение теплоты, равное в течение часа 100 малым калориям на 1 грамм радия. Этот удивительный факт позднее (в 1908 г.) подтвердили Резерфорд и Гейгер. Подсчитывая число α -частиц, испускаемых в 1 секунду, и измеряя энергию отдельной частицы методом магнитного отклонения, они получили то же количество энергии. Тотчас же возник вопрос: откуда берется эта постоянно освобождающаяся энергия? Уже в 1903 г. Резерфорд и Содди высказали взгляд, что всякий радиоактивный процесс есть превращение элементов. Потом стало ясно, что выделяющаяся при отдельном элементарном процессе энергия равна разности энергий нового и старого атомов. С тех пор говорят о радиоактивном распаде. Постепенно все «естественно» радиоактивные элементы распределили в три ряда распада, родоначальниками которых являются уран, протактиний и торий. Радий и полоний стоят в ряду урана. Упорядочение этих элементов в периодической системе привело в 1911—1913 гг. А. Ресселя, К. Фаянса и Фр. Содди к законам смещения, соответственно которым испускание одной α -частицы снижает порядковый номер на два, одной β -частицы — увеличивает его на единицу. Это находится в полном согласии с фактом тождественности порядкового номера и заряда ядра, окончательно установленным в 1913 г. посредством рентгеноскопии. Так пало старое воззрение о неразрушимости и несоздаваемости атомов.

γ -излучение непосредственно не связано с превращением элементов. Оно возникает только тогда, когда образуется возбужденное, в смысле квантовой теории, ядро, которое переходит потом, после испускания

γ -кванта, в первоначальное состояние. В 1926 г. Лиза Мейтнер экспериментально доказала, что γ -излучение обнаруживается только после радиоактивного превращения.

Очень скоро заметили, что уменьшение радиоактивности препарата со временем происходит у различных тел с различной скоростью. Закон радиоактивного распада открыли в 1899 г. Юлиус Эльстер (1854—1920) и Ганс Фридрих Гейтель (1855—1923): число испускаемых в секунду частиц уменьшается со временем экспоненциально. Постоянной этого закона является характерное для каждого элемента время полураспада, т. е. время, в течение которого это число уменьшается наполовину. Оно колеблется в очень широких границах — от $1,6 \cdot 10^{10}$ лет у тория до 10^{-4} сек. у радия и даже до еще меньших значений. Согласно установленному в 1912 г. Гансом Гейгером (1881—1945) и Дж. М. Нэттолом правилу, это число связано в случае α -лучей с энергией и вследствие этого также с пробегом испускаемых частиц, так что для каждого ряда радиоактивного распада энергия тем больше, чем меньше время полураспада. Объяснение этого правила на основе волновой механики дал Г. Гамов в 1928 г. (гл. 14).

Большим достижением было данное в 1905 г. Э. Швейдлером объяснение эмпирического закона распада: вероятность распада для каждого атома независима от времени и тем больше, чем меньше время распада. Физика столкнулась здесь впервые с процессом, который не поддается причинному объяснению. До сегодняшнего дня мы не знаем, почему данный радиоактивный атом распадается именно в этот, а не в другой момент времени. Невозможность изменить распад какими-либо физическими влияниями как бы набрасывает завесу на ядро. Правильность вероятностной теории распада подтвердили в 1906—1908 гг. наблюдения Кольрауша, Эдгара Мейера и Э. Регенера, а также Г. Гейгера над требуемыми теорией флюктуациями числа частиц, испускаемых в единицу времени.

Значение теории Швейдлера ясно проявилось позднее, когда физика изучила многие другие атомные явления, для описания которых очень хорошо подходит понятие вероятности при невозможности причинно определить момент времени их наступления. Ко всем таким явлениям применимы вероятностные рассуждения Швейдлера.

Открытие радиоактивного распада атомов оживило алхимическую идею превращения одного элемента в другой. До 1930 г. в течение десятилетий проводились многочисленные опыты этого рода, особенно посредством вольтовой дуги. Но эти мнимые превращения не устояли перед критикой. Превращение достигается, как мы теперь знаем, только методом концентрации необходимого количества энергии на отдельном атоме при бомбардировке его другими атомами или γ -квантами. Но и в этих экспериментах вначале (1907) были ошибочные результаты. Первое действительное искусственное превращение атомов удалось в 1919 г. Резерфорду. Он облучал азот α -частицами и получил при этом протоны с большой длиной пробега. Фотографии этого явления в камере Вильсона, сделанные в 1925 г. П. М. С. Блэккетом, ясно показали, наряду с длинным следом протона, короткий след возникшего кроме него изотопа кислорода с атомным весом 17. В период от 1921 до 1924 г. Резерфорд и Чадвик смогли доказать существование этой реакции — поглощения α -частицы и испускания протона — также у всех элементов от бора (порядковое число 5) до калия (порядковое число 19), за исключением углерода и кислорода. Кроме протона в этих реакциях постоянно возникает элемент, следующий по порядку в периодической системе.

Важным годом для развития этой области был 1930 г. Прежде всего Боте и Беккер наблюдали проникающее γ -излучение при обстреле легких элементов, особенно бериллия, α -частицами. Как показал в 1935 г. К. Шнецлер, атомное ядро при столкновении

с α -частицами приходит в возбужденное состояние, а после испускания γ -кванта возвращается в первоначальное состояние. Это явление происходит только при условии, что нижний предел энергии α -частицы равен $2,3 \cdot 10^6$ электрон-вольт. И. Кюри и Ф. Жолио подтвердили основные наблюдения Боте и Беккера, но пришли при помощи измененной аппаратуры к другим результатам относительно поглощения возникающего излучения. Они показали с помощью камеры Вильсона, что это излучение приводит более легкие атомы в такое быстрое движение, которое невозможно, согласно теории столкновений, приписать действию γ -лучей. Отсюда потом Чадвик заключил, что здесь возникает, кроме γ -лучей, корпускула, которая имеет нулевой заряд и почти ту же самую массу, что и протон, т. е. нейтрон, существование которого давно предполагалось Резерфордом. Действительно, как доказал позднее Шнецлер, при возбуждении ядер бериллия может происходить улавливание ими частицы с последующим выделением нейтрона при условии, что энергия α -частицы равна по крайней мере $4,76 \cdot 10^6$ электрон-вольт. Остающееся ядро является ядром углерода.

Это представление впоследствии полностью подтвердилось; было открыто множество ядерных реакций, в которых захват α -частицы или дейтерия вел к испусканию нейтрона. Особенно обильный источник нейтронов был получен при столкновении быстрых дейтронов друг с другом М. Л. Е. Олифантом, П. Гартеком и Резерфордом в 1934 г., что дало возможность проводить многочисленные опыты с нейтронами.

В 1934 г. И. Кюри и Ф. Жолио натолкнулись в этих опытах на ядерные реакции, при которых вновь возникшее ядро оказывается нестабильным; при отщеплении одного позитрона оно подвергается дальнейшему радиоактивному распаду. В случае этих «искусственно» радиоактивных атомов сохраняется также закон распада Швейдлера. Позднее стали известны случаи, в которых вместо позитрона появляется электрон, а также, при определенных обстоятельствах, наряду с ним

и γ -излучение. С 1934 г. Э. Ферми стал применять нейтроны для бомбардировки атомов. С тех пор количество устойчивых или радиоактивных ядер, полученных путем искусственного превращения, возросло до многих сотен, и почти все места периодической системы заполнились изотопами (гл. 10).

Атомы, возникающие во всех этих ядерных реакциях, занимали в периодической системе то же место, что и бомбардированный атом, или соседние места. Поэтому произвело большую сенсацию доказательство Ганом и Штрассманом в 1938 г. того, что при обстреле нейтронами последнего элемента периодической системы — урана — происходит распад на элементы, которые стоят в средних частях периодической системы. Здесь выступают различные виды распада. Возникающие атомы в большинстве своем неустойчивы и тотчас же распадаются дальше; у некоторых время полураспада измеряется секундами, так что Ган должен был применить аналитический метод Кюри для продления такого быстрого процесса. Важно отметить, что стоящие перед ураном элементы, протактиний и торий, также обнаруживают подобный распад под действием нейтронов, хотя для того, чтобы распад начался, требуется более высокая энергия нейтронов, чем в случае урана. Наряду с этим в 1940 г. Г. Н. Флеров и К. А. Петржак обнаружили спонтанное расщепление уранового ядра с самым большим из известных до тех пор периодом полураспада: около $2 \cdot 10^{15}$ лет; этот факт становится явным благодаря освобождающимся при этом нейтронам. Так явилась возможность понять, почему «естественная» периодическая система заканчивается тремя названными элементами. Теперь стали известны трансурановые элементы, но они настолько неустойчивы, что быстро распадаются.

Расщепление урана посредством нейтронов дает теперь возможность того использования атомной энергии, которое уже многим мерещилось, как «мечта Жюль Верна», но которое еще Резерфорд объявил иллюзией.

При расщеплении нейтронами изотопа урана с атомным весом 235 освобождаются в одном элементарном акте при применении одного нейтрона в среднем два нейтрона, как это показали еще в 1939 г. Ф. Жолио, Л. Коварский и Г. Халбан. Поскольку распад этого изотопа урана может быть произведен посредством нейтронов с очень малой энергией, при известных условиях становится возможной цепная реакция, которая ведет к дальнейшему расщеплению ядер, так что процесс протекает сам собой во все возрастающем темпе. Вторая мировая война, разразившаяся через 8 месяцев после опубликования открытия Гана, привела к тому, что первым применением этого открытия было создание нового страшного оружия. Большое деловое сотрудничество американских и английских ученых, опирающееся на огромные государственные средства, создало в течение этой войны атомную бомбу, которая взорвалась 16 июля 1945 г. в Новой Мексике, 6 августа над Хиросимой и вскоре после этого над Нагасаки. Подробное изложение этого развития выходит за рамки этой книги *). С точки зрения физики здесь занимают величайшим экспериментом, который когда-либо ставили люди. Это — блестящее подтверждение смелого научного предвидения, основанного на убеждении в объективной истинности физики.

Как глубоко эти результаты внутренне и внешне преобразят человечество, пока еще трудно оценить. Возможно, что позднее написанная история будет рассматривать вышеупомянутые открытия как важнейшие во всей исторической эпохе, поскольку замедленное течение цепной реакции, приводящей ко взрыву бомбы, дает возможность использования энергии атомного ядра для мирных, созидательных целей.

*) См. H. D. Smyth, Atomic energy for military purposes, Princeton University Press, 1945; русский перевод: Смит, Атомная энергия для военных целей, М., 1948.





ГЛАВА 12

КРИСТАЛЛОФИЗИКА

Наука о кристаллах принадлежит исключительно новому времени. Правильные формы некоторых алмазов, а также гладкие грани других кристаллов, правда, бросались в глаза и прежде; кажущееся беспорядочным изменение их величины и формы было, вероятно, причиной того, что не устанавливали закономерностей. В древности знания о минералах приобретались случайными наблюдениями и к тому же переплетались с мифологией и верой в волшебную силу драгоценных камней.

Совершенно изолированно стоит маленькое сочинение Иоганна Кеплера, появившееся в 1611 г.: из простого наблюдения над «шестиугольными снежинками», именем которых названо его сочинение, гениальный ученый пришел к идее симметрии и даже построения снежинок из плотно упакованных шаров. В его геометрических размышлениях мы узнаем опять тот ход мысли, который Кеплер применил в 1596 г. в своем «*Prodromus*» при выводе закона для радиусов орбит планет. Этот закон вскоре был признан неправильным; но взгляд на мир, как на творение духа, предпочитающего простые математические отношения, поставил Кеплера здесь на верный путь. Однако это случайное сочинение, которое он сам рассматривал отчасти как забаву, не оказало влияния.

В 1669 г. Нильс Стенсен (Николай Стено, 1638—1686) открыл, что у кварца (от которого термин «кристалл» был постепенно перенесен на другие твердые

тела с определенной естественной формой), а также у некоторых других кристаллов, даже если они обработаны, между их плоскостями обнаруживается всегда один и тот же угол. В том же году Эразм Бертельсен (Бартолинус, 1625—1698) заметил у исландского шпата двойное лучепреломление, которое в 1678 г. Гюйгенс (гл. 4) объяснил на основе волновой теории. Доменико Гульельмини (1655—1710) распространил в 1688 г. закон постоянства углов на некоторые кристаллы соли. Целое столетие ушло на установление этих фактов. Кристаллография оставалась незатронутой большими успехами остальной физики; физики не имели в своем распоряжении хорошо обработанных кристаллов, а минералогии, правда, обладали ими, но занимались главным образом другими задачами. (Получение искусственных кристаллов является трудным искусством, и в систематической форме оно развилось только в XX веке). Исключением является открытие пирозлектричества в турмалине. В течение долгого времени давались неправильные объяснения этого явления. Лишь в 1758 г. Франц Ульрих Теодор Эпинус (1724—1802) показал, что плоскости кристалла заряжаются при изменении температуры.

Только в 1772 г. появилось опять значительное произведение о формах кристаллов: Жан Батист Роме де Лиль (1736—1790) распространил закон постоянства углов, образуемых плоскостями, на многие другие кристаллы. Эти углы, т. е. положения плоскостей друг по отношению к другу, являются с тех пор, как известно, основной характеристикой любого вида кристаллов, в то время как величина плоскостей определяется случайными побочными обстоятельствами при росте кристалла.

На основе этого закона развивалась геометрическая кристаллография в процессе трудного детального изучения и, конечно, не без заблуждений. Благодаря выдающимся работам Христиана Самуэля Вейса (1780—1856), исследованиям его ученика Франца Эрнста Неймана (1798—1895) (первого крупного физика, вплот-

ную занявшегося кристаллами), работам Фридриха Моса (1773—1839) и Карла Фридриха Наумана (1797—1873), наконец, Вильяма Миллера (1801—1880) был установлен «закон рациональности». Он определяет положение любой кристаллической плоскости тремя небольшими целыми числами, ее «индексами», если известны три оси кристалла и длина каждой из них. Вышеуказанные исследователи старались также дать систематику кристаллов. Однако полная систематика удалась только в конце этого периода, в 1830 г., Иоганну Фридриху Христиану Гесселю (1796—1872). На основе закона рациональности он дал геометрическое доказательство того, что существуют 32 класса кристаллов; и не больше. Но на его работу также не обращали внимания в течение десятилетий. В 1867 г. Аксель Гадолин (1828—1892), не зная о своем предшественнике, весьма изящным образом вновь установил эту систематику. Таким образом, цель геометрической кристаллографии была достигнута.

Классы кристаллов различали сначала по симметрии, характерной для положений граней. Одновременно укреплялось также представление о том, что эта симметрия имеет решающее значение также для процессов внутри кристаллов, например для распространения света и упругости. Известковый шпат, на котором раньше всего было изучено двойное лучепреломление, имеет только одну оптическую ось. В 1812 г. Жан Батист Био (1774—1862) нашел у слюды две оптические оси. Давид Брюстер (1781—1868) подтвердил это в 1813 г. на примере топаза и других кристаллов, а также расширил в 1818 г. список веществ, имеющих двойное лучепреломление, до числа свыше ста. Известный астроном Джон Фредерик Вильям Гершель (1792—1871) усовершенствовал эти знания, в частности, благодаря применению монохроматического света. Но точную связь между геометрической симметрией плоскостей и физическими свойствами кристаллов сформулировал в основном правильно лишь в 1833 г. Франц Нейман, который уже в 1832 г. свел кристаллооптику Френеля

к упругой теории света. Этот же великий исследователь создал также теорию упругости кристаллов. По его следам пошел его ученик Вольдемар Фойгт (1850—1919); учебник кристаллофизики Фойгта, появившийся в 1910 г., остался до сих пор неисчерпаемой сокровищницей сведений по всем физическим проблемам кристаллов. В нем имеется также теория пирозлектричества, которую развил в 1878 г. Вильям Томсон (лорд Кельвин), а также пьезоэлектричества, открытого в 1881 г. Пьером Кюри (1859—1906).

Однако сущность кристаллического состояния, согласно современным взглядам, определяется не этими свойствами, а упорядоченным расположением атомов в пространственных решетках, т. е. конфигурациями со строгой трехмерной периодичностью. На этой основе можно понять все свойства кристаллов.

Теория пространственной решетки имеет длинную историю. Шаровые упаковки, о которых еще в 1611 г. говорил Кеплер, были уже пространственной решеткой, хотя он не применял этого понятия. Разносторонний Роберт Гук (1635—1703) высказал в 1665 г. в своей «Микрографии» правильный взгляд на строение кристаллов, но не обосновал и не развил его. Гюйгенс в своем «Трактате о свете» (гл. 4), напечатанном в 1690 г., на основе изучения характера расщепления известкового шпата дает структуру кристалла в форме пространственной решетки, состоящей из мельчайших частиц эллипсоидальной формы. На основании этого же свойства в 1773 г. Торберн Бергманн (1735—1784), а в более общей форме в 1782 г. Рене Жюст Аюи (1743—1822) рассматривали кристалл, как кладку из мельчайших строительных камней, которые имеют форму параллелепипедов, и также обнаруживающую периодичность по трем измерениям. Физик Людвиг Август Зеебер (1793—1855) был первым, кто соединил с этим воззрением тогда еще новое понятие химического

атома и допустил, что пространственная решетка образована атомами. Благодаря глубокому физическому пониманию он выходит за пределы чисто геометрического рассмотрения и определяет расстояния между атомами посредством сил, действующих между ними, а также ставит в связь с этим упругость и тепловое расширение. Он опубликовал свои взгляды в 1824 г., на 32 года раньше, чем вошла в современную физику атомистика в форме кинетической теории газов. Но, может быть, именно поэтому его подвиг (эту работу действительно можно так назвать) был совершенно забыт. Не помогло также и то, что великий Карл Фридрих Гаусс в 1831 г. в рецензии на одну математическую книгу указал на проблемы, связанные с идеей Зеебера относительно «параллелепипедного расположения точек в пространстве». Лишь в 1879 г. Зонке (см. ниже) обратил внимание на работу Зеебера.

Совершенно независимо от этого развивалась математика пространственной решетки; она определяла отдельную решетку не пространственным распределением изображаемых ею физических образований, а посредством допустимых для нее операций суперпозиции. Так, Мориц Людвиг Франкенгейм (1801—1869) поставил следующий вопрос в 1835 и 1856 гг.: соответствуют ли все геометрически возможные виды пространственных решеток симметриям, наблюдаемым у кристаллов? Уже до его второй работы, а именно в 1850 г., Огюст Бравэ (1811—1863) вывел 14 по его имени названных пространственных решеток, которые могли быть образованы только путем *переносов* одной ячейки (без помощи других операций). Эти чисто геометрические работы по теории групп обобщил в 1879 г. Леонард Зонке (1842—1897) благодаря введению других операций и получил таким образом 65 различных пространственных групп. Полное решение этой математической проблемы, установление и перечисление всех геометрически возможных пространственных групп совершили кристаллограф Евграф Степанович Федоров (1853—1919) и математик Артур Шенфлис (1853—1928). Оба установили

в 1891 г., независимо друг от друга и совершенно различными путями, 230 пространственных групп.

Сначала эти исследования не оказывали никакого влияния на физику, потому что гипотеза пространственной решетки не обосновывалась какими-либо физическими явлениями. Среди немногих физиков, которые вообще интересовались учением о кристаллах, некоторые защищали противоположное представление о том, что в кристаллах, как во всяком веществе, центры тяжести молекул распределены беспорядочно и анизотропия порождается исключительно параллельной ориентацией привилегированных направлений молекул. В минералогии также мало занимались этой гипотезой. Только Пауль Грот (1843—1927) поддерживал традицию Зонке в своей преподавательской деятельности в Мюнхене. Победу этой гипотезе доставили в 1912 г. опыты В. Фридриха и Пауля Книппинга (1883—1935), которые, согласно высказанному М. Лауэ предсказанию, обнаружили явления интерференции рентгеновских лучей, вызываемые пространственной решеткой кристаллов. Благодаря своей весьма малой длине волны эти лучи дают возможность определить расстояния между атомами в решетке, которые не могут быть определены с помощью лучей, имеющих длину волны видимого света. В этих опытах было также дано первое решающее доказательство волновой природы рентгеновских лучей, которую до тех пор некоторые выдающиеся исследователи отрицали из-за особенно бросающихся в глаза квантовых явлений у этих лучей (гл. 14). Теория этого явления, которую сразу же после первых сообщений о результатах опыта дал М. Лауэ, сумевший количественно подтвердить ее, явилась обобщением теории, предложенной Швердом (гл. 4) в 1835 г. для оптической решетки. Сначала теория Лауэ оспаривалась некоторыми физиками, но недолго, так как несколько резких максимумов интерференции рентгеновских лучей слишком ясно напоминали оптические спектры решетки. Хотя эта теория является только приближением, она чем дальше, тем больше становится

удивительно хорошим приближением. Здесь оказались тесно связанными волновая теория рентгеновских лучей и атомистическая теория кристаллов — одно из тех поразительных событий, которые сообщают физике ее убедительную силу.

Теория Лауэ позволяет сравнивать длину волны с тремя периодами пространственной решетки. Но так как тогда знали только порядок величины последних, то поэтому было невозможно определить абсолютное значение длин волн. Трудность заключалась в незнании атомной структуры кристаллов; не знали, сколько атомов находится в отдельной ячейке пространственной решетки. Помощь пришла в 1913 г. со стороны Вильяма Генри Брэгга (1862—1942) и его сына Вильяма Лоуренса Брэгга. Они воспользовались установленной в 1898 г. Вильямом Барлоу (1845—1934) гипотезой о структуре каменной соли NaCl ; идея плотнейших упаковок шаров опять играет роль в этой гипотезе. Эта структура подтвердилась наблюдениями интенсивностей максимумов интерференции, и таким образом была получена абсолютная мера для постоянной решетки. Так явилась возможность абсолютного определения длины волны рентгеновских лучей, т. е. в сантиметрах. Впоследствии удалось также при помощи их определить константы решетки других кристаллов. Эти величины большей частью лежат между 10^{-8} и 10^{-7} см; однако у сложных органических тел обнаруживаются также значительно бóльшие величины. В 1923 г. А. Х. Комптон наблюдал диффракцию рентгеновских лучей на искусственных решетках; его измерения ничего не прибавили к прежним определениям длины волны, кроме, конечно, важного увеличения точности.

Измерение длин волн создало рентгеноспектроскопию. Характеристические лучи химических элементов (K , L , M и т. д.) были открыты благодаря их различной поглощаемости в 1908 г. Ч. Г. Баркла и К. А. Садлером. В работах обоих Брэггов и Г. Мозли (1887—1915) в 1913 г. они рассматривались как серии резких спектральных линий, длины волн которых

связаны простым законом с местом элемента в периодической системе. Спектрография рентгеновских лучей имела очень большое значение для атомистики (гл. 10 и 14). Она привела также к открытию новых элементов — гафния (1923) Г. Хевеши и рения (1925) В. Ноддаком, И. Таке и Отто Бергом (1874—1939). Исследование структур кристаллов, в котором мысль Л. А. Зеебера нашла свое блестящее оправдание, стало отдельной большой ветвью науки. Число органических и неорганических кристаллов, для которых мы можем точно задать положения атомов, насчитывается тысячами. Среди них находятся сложные структуры различных силикатов. В 1925 г. Г. Менцер исследовал их впервые у гранита. Подтвердилось, что у многих металлов, как алюминий, серебро, медь, атомы расположены в виде плотнейших шаровых упаковок, как указывал уже в 1611 г. в упомянутом сочинении Кеплер. В 1915 г. В. Брэгг показал, что у этих и других не слишком сложных структур посредством рентгенографического анализа Фурье плотности электронов можно определить не только положение центра атомов, но и распределение электронов.

Рентгеновские лучи сделали очевидной также пространственность кристаллического состояния в природе. Редко встречаются хорошо образованные крупные кристаллы; гораздо чаще встречаются «микрористаллические» агрегаты из микроскопических или еще меньшей величины кристаллов. В отношении металлов это представление существует уже давно. Но ново то, что микрористаллическую структуру имеют также дерево, мышечные и нервные волокна, ткани организма. Именно кристаллическое состояние является нормальным состоянием твердой материи; только немногие тела, прежде всего стекло, являются исключением. Поэтому всякая атомистическая теория твердого тела, например квантовая теория электропроводности, исходит из пространственной решетки. После возникновения волновой механики (гл. 14) пространственные решетки стали играть особую роль. Из теории Луи де Бройля

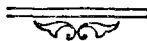
в 1925 г. Эльзасер сделал заключение, что электронные лучи при прохождении через кристаллы должны давать, подобно рентгеновским лучам, явления интерференции. В 1927 г. это было подтверждено, с одной стороны, опытами К. Дж. Дэвисона и Л. Г. Джермера и, с другой стороны, опытами Г. П. Томсона; они дали непосредственно наглядное и, благодаря измерению длин волн, связанных с электронами, количественное доказательство этой революционной теории. Отто Штерн (1929) и Джонсон (1931) поставили также с помощью кристаллов опыты для лучей атомов гелия и водорода. Однако при этом действуют только поверхности кристаллов, так как эти лучи не могут проникнуть в твердые тела. Напротив, для нейтронов можно, так же как для рентгеновских лучей, точно доказать действия пространственной решетки. Это стало возможным, когда американские исследователи получили мощные источники нейтронов в циклотроне (Д. П. Митчел и П. Н. Пауэрс, 1936 г.) или даже в «урановых котлах» (Э. Ферми и Л. Маршал, 1947 г.).

Наряду с этим надо упомянуть, что интерференция рентгеновских и электронных лучей применяется также для определения формы и величины молекул газов, как это показали для рентгеновских лучей в 1915 г. П. Дебай, а для электронных лучей в 1930 г. Х. Марк и Р. Вирл (1904—1932). В этих исследованиях были определены расстояния между атомными ядрами для многих двухатомных молекул: азота, кислорода, фтора и т. д. Эти расстояния заключаются между $1 \cdot 10^{-8}$ и $3 \cdot 10^{-8}$ см. Известно, что атомы в молекуле углекислого газа CO_2 расположены на одной прямой, а атомы в молекуле воды H_2O — по сторонам треугольника, и т. д. Особенно хорошо изучена молекула четыреххлористого углерода CCl_4 ; в ней атомы хлора образуют равносторонний тетраэдр, в центре которого находится атом углерода. Стереохимические воззрения, выработанные Вант-Гоффом в 1874 г., получили здесь полное подтверждение.

Первоначальная теория интерференции в пространственных решетках представляет собой, как было сказано, приближение, которое, правда, для рентгеновских лучей почти всегда достаточно, но для электронов, напротив, часто перестает быть годным. Доработку этой теории в более точную «динамическую» теорию произвели в 1914 г. Ч. Г. Дарвин и в 1917 г. П. П. Эвальд. С помощью этой теории они смогли объяснить несоответствие между старой теорией и точными измерениями В. Стенстрёма (1919 г.). Окончательный вид динамической теории придал в 1931 г. Макс Лауэ. Согласование ее с волновой механикой произвел в 1935 г. М. Колер. Для электронов сделал соответствующий шаг уже в 1928 г. Г. Бете.

Динамическая теория описывает, в отличие от прежней теории, также волны внутри кристалла; она поэтому необходима для понимания найденного в 1935 г. В. Косселем явления интерференции при пропускании через кристаллы монохроматического рентгеновского излучения; источники излучения в этом случае находятся в самой пространственной решетке. Это излучение действительно ясно обнаруживает в определенных направлениях, установленных условиями интерференции, характерные резкие максимумы и минимумы интенсивности.

Первоначальная теория была еще несовершенной, поскольку она совершенно отвлекалась от теплового движения атомов. Между тем это движение при комнатной и более высокой температуре довольно значительно в сравнении с тремя периодами пространственной решетки. В 1914 г. П. Дебай показал, что оно не имеет никакого влияния на положение и резкость максимумов интерференции, но уменьшает только их интенсивности. С тех пор теория подвергалась дальнейшей обработке. В 1926—1933 гг. В. Л. Брэгг и его сотрудники подтвердили ее рядом измерений.



ГЛАВА 13

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Учение о тепловом излучении является одной из самых молодых ветвей физики. Понятие теплового излучения было установлено химиком Карлом Вильгельмом Шееле (1742—1786); первые эксперименты произвел Марк Огюст Пикте (1752—1825). Пьер Прево (1751—1839) сделал из них вывод в 1791 г., что каждое тело излучает независимо от окружающей его среды. Сообщенное телу количество тепла представляет собой разность между теплом, которое оно получает от среды, и тем, которое оно излучает; это — важный закон, который только при теплопроводности не имеет никакого значения. В течение первой половины XIX столетия знали только единый спектр; тепловое и световое излучения часто спутывали (гл. 4). Поскольку в то же самое время были установлены оба основных начала, термодинамика и оптика теперь настолько развились, что из их объединения могло родиться дитя, предназначенное совершить величайшую революцию в физике. Это еще одно из тех событий, которые доказывают истинность физики.

Новый путь проложил Густав Роберт Кирхгоф (1824—1887). Он показал, что в замкнутом пустом пространстве, не пронизаемом для излучения и поддерживаемом при постоянной температуре, устанавливается универсальное излучение «черного тела», зависящее только от температуры, но не от природы стенок. Интенсивность излучения любого тела может быть определена, исходя из излучения «черного тела», если

известны поглощение и показатель преломления данного тела (1859). Только для излучения черного тела имеет строгое значение закон косинусов, который в 1760 г. был выведен Иоганном Генрихом Ламбертом (1728—1777) из наблюдений над излучением источников света. Так вся проблема излучения свелась к исследованию излучения черного тела. Никто не подозревал значения этих открытий. К тому же считали невозможным наблюдение излучения черного тела. В 1895 г. Отто Луммер (1860—1925) и Вильгельм Вин (1864—1928) изобрели способ изучать его, глядя внутрь замкнутого пространства через маленькую щель, столь маленькую, что это заметно не изменяет состояния излучения в замкнутой полости. Лишь с тех пор существуют количественные измерения интенсивности излучения черного тела.

За несколько месяцев до установления закона, носящего имя Кирхгофа, последний вместе с Робертом Вильгельмом Бунзеном (1811—1899) опубликовал открытие, которое произвело большое впечатление на современников: темные фраунгоферовы линии в солнечном спектре совпадают с линиями испускания хорошо известных газов и паров. Таким образом, было доказано в общем виде, что материя вне нашей планеты состоит из тех же химических элементов, что и на Земле. До тех пор это можно было предполагать только на основе анализа метеоритов.

Спектроскопия, как инструмент астрономии, обещала большое расширение наших знаний о неподвижных звездах. Но результаты вскоре превзошли все ожидания. Элемент гелий, вопреки обычным правилам, был раньше найден на Солнце Ж. Жансеном (1824—1907) в 1868 г. и лишь потом, в 1895 г., в минерале клевеите Вильямом Рамзаем (1852—1916) и Теодором Клеве (1840—1905). Спектроскопия звезд в настоящее время не является еще исчерпанной наукой.

Кирхгоф считал связь между этим открытием и термодинамикой более тесной, чем она есть на самом деле. Он заблуждался, предполагая, что испускание

спектральных линий совершается за счет тепловой энергии. В большинстве случаев электрическое или химическое возбуждение вызывает в газах свечение; температура излучения — как мы выражаемся теперь — становится тогда гораздо выше температуры самого газа. Совпадение линий поглощения и испускания связано с явлением резонанса, которое было объяснено лишь теорией квантов.

Второй шаг в исследовании теплового излучения сделал в 1884 г. Людвиг Эдуард Больцман (1844—1906). На основании электромагнитной теории света он заключил о давлении излучения черного тела на стенки, равном одной трети энергии излучения, приходящейся на единицу объема. Путем простого применения обычных термодинамических способов он вывел, что эта энергия пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры; коэффициент пропорциональности — универсальная постоянная. Так был обоснован и уточнен результат, который еще в 1879 г. был выведен Джозефом Стефаном (1835—1893) из измерений французских физиков. Это было триумфом электромагнитной теории света. В своем некрологе о Больцмане Лорентц назвал перлом теоретической физики *) его маленькое, но глубоко продуманное сочинение, в котором он смело применил к тепловому излучению термодинамические понятия — давление и температуру, а неявно — также понятие энтропии.

Закон Стефана—Больцмана говорит о суммарной энергии всего спектра. Целью исследования стало изучение распределения энергии в спектре. Существен-

*) H. A. Lorentz, Verh. d. Deutschen Phys. Gesellschaft (1907).

ное приближение к этой цели означало третий шаг теории теплового излучения. Его сделал в 1893 г. Вильгельм Вин (1864—1928) путем комбинации методов термодинамики с принципом Допплера. Закон смещения Вина — великое открытие, недостаточно оцененное в современных учебниках, — дает возможность вычислить распределение энергии при любой температуре, если оно известно при данной температуре. Но даже без этого знания закон дает объяснение, почему с возрастанием температуры максимум интенсивности в спектре все больше и больше смещается к коротким волнам; почему, таким образом, тепловое излучение при более низких температурах остается невидимым, а при температурах около 6000° максимум интенсивности становится видимым; если известно его положение, то возможно вычислить температуру источника излучения, например Солнца. Вин первый распространил понятие энтропии не только на излучение черного тела, но также на направленное излучение, что было в связи с законом увеличения энтропии тем более необходимо, что энтропия источника излучения уменьшается. Вскоре после этого оказалось, что закон смещения ведет так далеко, как вообще могла пойти классическая физика, т. е. к порогу квантовой теории.

Было сделано много попыток решения проблемы вычисления интенсивности излучения как функции частоты колебаний и температуры. Мы упомянем закон, названный по имени лорда Рэля (1842—1919) и Джемса Хопвуда Джинса (1877—1946), согласно которому интенсивность пропорциональна температуре и квадрату частоты колебаний. Этот закон недействителен для произвольно высоких частот колебаний (коротких длин волн) потому, что при этом не получается конечная общая энергия излучения. Однако он содержит определенную истину, поскольку имеет значение для небольших частот (больших длин волн). С 1896 г.

В. Вин и позднее также М. Планк (1858—1947) выдвинули закон распределения, согласно которому интенсивность уменьшается экспоненциально по мере возрастания длин волн. Так пытались избежать «ультрафиолетовой катастрофы». В 1899 г. удалось экспериментально подтвердить этот закон, но затем усовершенствованные измерения Отто Луммера (1860—1925) и Эрнста Принсгейма (1859—1917) привели к значительным отклонениям от этого закона, послужившим для Планка источником новых размышлений.

Двадцатилетняя деятельность Планка в области термодинамики и ясное понимание значения энтропии, которое тогда еще многими оспаривалось, сыграли большую роль в развитии его идей. Ядром проблемы он считал не формулу интенсивности, а однозначно связанное с нею отношение между энергией, частотой и энтропией излучения. Закону распределения Вина соответствовала одна связь этих величин, закону Рэлея—Джинса — другая. Когда Планк в октябре 1900 г. узнал о новых измерениях Фердинанда Курлбаума (1857—1927) и Генриха Рубенса (1865—1922), подтверждающих закон для длинных волн, он установил на основе обоих видов связи интерполяционную формулу, из которой непосредственно получался названный по его имени закон излучения, содержащий прежде установленные формулы как предельные случаи *). Он доложил об этом в Немецком физическом обществе 19 октября 1900 г. Несмотря на некоторые сомнения, этот закон в последующем все больше и больше эмпирически подтверждался.

Оставалось, правда, главное дело, а именно: проблема надлежащего теоретического обоснования этого полуэмпирически найденного закона. Планк вернулся к обнаруженной Больцманом связи между энтропией и вероятностью (гл. 10) и вычислил вероятность числа колебаний линейного осциллятора. При этом он исходил

*) M. Planck, Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums, Naturwiss. 31, 153 (1943).

из неслыханно новой, только по необходимости им введенной идеи о том, что возможны только дискретные ступени энергии. Отсюда, действительно, получался закон излучения. Этот закон удовлетворял закону смещения Вина, если ступени энергии отличались друг от друга на величину $h\nu$, где h — новая универсальная константа, элементарный квант действия. Таким путем теоретическая формула излучения становилась тождественной формуле, найденной путем интерполяции. Численное значение h получилось на основании измерений равным $6,5 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек. Константа Больцмана, которая также входит в закон излучения (поскольку применяется установленное Больцманом отношение между энтропией и вероятностью состояния), имеет значение $1,37 \cdot 10^{-16}$ эрг/град. Этот вывод Планк также доложил в Немецком физическом обществе 14 декабря 1900 г. С этого дня началось развитие теории квантов.

Закон квантов энергии $h\nu$ Планка был не продолжением прежней физики, а переворотом в ней. Следующие десятилетия все яснее показывали, насколько глубок был этот переворот и также насколько он был необходим. Именно с помощью теории квантов стало возможным понимание атомных явлений.

В последующие годы были сделаны еще некоторые другие попытки теоретически вывести закон излучения Планка. В 1910 г. П. Дебай, например, применил $h\nu$ -закон к электромагнитным собственным колебаниям черного тела и достиг таким путем, может быть, еще более простого подхода к формуле излучения. В 1917 г. Эйнштейн сделал интересный вывод, который дальше всего отходит от представления о колебаниях излучения черного тела. Он характеризует это излучение посредством спектральных областей и квантов энергии, которые относятся к этим областям. При этом он придает каждому возбужденному атому излучения черного тела определенную вероятность излучения в единицу

времени, а также пропорциональную энергии излучения вероятность поглощения или вынужденного испускания. Для невозбужденных атомов устанавливается только вероятность поглощения. Мысль Швейдлера о вероятности распада при радиоактивности находит здесь свое применение к другим атомным процессам; эта мысль распространилась на всю теорию квантов.

С другой стороны, термодинамика излучения доставила поразительное подтверждение принципа Больцмана. Две пространственно разделенные системы частиц в общем статистически независимы, так что их вероятности умножаются, когда вычисляют вероятности всей системы; этому соответствует, согласно принципу Больцмана, аддитивное сложение их частных энтропий в общую энтропию, которое принадлежит к числу неявных предпосылок классической термодинамики. Если производят такое вычисление у двух когерентных лучей, которые возникают из одного луча при отражении и преломлении, то находят, что общая энтропия их больше, чем энтропия первоначальных лучей. Но в 1906 г. М. Лауэ смог доказать, что этот процесс обратим; можно два когерентных луча опять сложить в один путем соответствующего отражения и преломления. Общая энтропия двух когерентных лучей должна, следовательно, быть равна энтропии первоначальных лучей. Противоречие разрешается, если отказываются от правила аддитивности частных энтропий когерентных лучей. Согласно принципу Больцмана это действительно необходимо, так как колебания обоих когерентных лучей полностью согласуются друг с другом; колебания в этих лучах не являются, следовательно, статистически независимыми. Это единственное исключение из правила аддитивности энтропий было бы без принципа Больцмана совершенно непонятным.





ГЛАВА 14

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Квантовая физика, отличающаяся от прежних теорий введением элементарного кванта действия h и определением состояний материальных систем через целые числа, существует как теория лишь с начала XX века (гл. 13). Но ее экспериментальные корни частично уходят далеко в XIX столетие. Измерения интенсивности теплового излучения, которые повлекли за собой переворот, были произведены лишь в последнем десятилетии прошлого века. Однако фотоэлектрический эффект, длины волн линейчатых и полосатых спектров, а также зависимость удельной теплоты тел от температуры были известны на несколько десятков лет раньше. Старая физика надеялась благодаря этим открытиям достигнуть своего завершения. Именно этим объясняется то, что Филипп Жолли (1809—1884) представил юноше Планку физику как по существу законченную науку, изучение которой, собственно, мало интересно. Но именно то, что было написано о линейчатых спектрах на основе прежней физики, не устояло перед критикой. Квантовая физика более или менее легко справилась с этими проблемами и объяснила, кроме того, еще многие новые экспериментальные факты.

Теория излучения Планка привлекла сначала мало внимания. Слишком нова была мысль о прерывных изменениях энергии. У многих его современников сомнения усиливались также тем, что значение элементарного электрического заряда, выведенное Планком из измерений излучения, было гораздо выше, чем большинство значений, полученных в то время путем пря-

мых измерений. Первый смелый шаг по пути дальнейшего развития идеи квантов сделал в 1905 г. А. Эйнштейн в своей теории фотоэлектрического эффекта.

Самое раннее указание на этот эффект было дано в 1887 г. Генрихом Герцем. Он заметил, что ультрафиолетовое излучение облегчает разряд, если оно попадает на искровой промежуток. Годом позже Вильгельм Гальвакс (1859—1922) установил, что причиной этого явления служит появление носителей электричества. В 1899 г. Филипп Ленард (1862—1947) показал, что они являются свободными электронами. Он же установил в 1902 г. две поразительные закономерности: существует нижний предел частоты света, до которого электроны не появляются и начиная с которого энергия освобожденных электронов возрастает с частотой; с другой стороны, энергия электронов независима от интенсивности света, интенсивность света определяет только число электронов, освобождающихся в единицу времени.

Эти факты, непонятные с точки зрения волновой теории света, точно соответствовали предсказаниям квантовой теории. Эйнштейн определил свет, как поток квантов света (фотонов), и приписал каждому кванту энергию $h\nu$; кроме того, он допустил, что каждый электрон освобождается при посредстве *одного* кванта. Здесь непосредственно происходит бомбардировка облучаемых тел квантами света. Если $h\nu$ меньше, чем работа, необходимая для освобождения электрона (работа выхода), то эффект не наступает; это значит, что со стороны больших длин волн существует предел, который зависит от облучаемого тела. Но если ν выше этого предела, то энергия освобожденного электрона равна энергии $h\nu$ фотона, уменьшенной на работу выхода электрона. Теория Эйнштейна так точно описала это явление, что Р. А. Милликен смог в 1916 г. из наблюдений частоты света и энергии фотоэлектронов дать верное определение значения h .

Исходя из тех же соображений, Эйнштейн установил в 1912 г. основной фотохимический закон, согласно

которому при всякой фотохимической реакции происходит сначала поглощение кванта света, а затем вызванное им превращение в *одном* атоме или молекуле. Этот закон также был признан правильным, после того как многие исследователи, особенно Эмиль Варбург (1846—1931) и Джемс Франк, благодаря большому трудолюбию и проницательности ясно установили побочные реакции и прочие усложнения, часто присоединявшиеся к описанному элементарному акту поглощения фотона, в силу чего число превращенных молекул становилось иногда меньше, а иногда в тысячи раз больше, чем это соответствует закону.

Явление, обратное фотоэлектрическому эффекту, заключается в возникновении излучения из-за захвата электрона атомом или молекулой. Если этот захват происходит в одном элементарном акте, то возникает фотон, энергия $h\nu$ которого равна кинетической энергии электрона (сложенной с величиной соответствующей работы выхода). При возникновении рентгеновских лучей в трубке Рентгена происходит как раз торможение электронов на антикатоде во многих элементарных актах. Но наибольшая возможная частота (или наименьшая возможная длина волны) всегда соответствует кинетической энергии электронов. Это утверждает открытый в 1915 г. В. Дюане и Ф. Л. Гунтом закон, определяющий границу спектра торможения со стороны коротких длин волн. В 1912 г. при открытии интерференции рентгеновских лучей этот закон еще не был известен, поэтому М. Лауэ должен был, согласно своей теории, ожидать гораздо больше точек интерференции, чем фактически оказалось, и ошибочно приписал их отсутствие селективным свойствам атомов кристалла. Согласно закону Дюане—Гунта фактически не оказалось волн короткой длины, которые должны были бы появиться в недосчитанных точках.

Еще яснее, пожалуй, обнаруживается реальность светового кванта в найденном в 1923 г. А. Х. Комптоном рассеянии рентгеновских лучей, поскольку при этом играет роль не только энергия светового кванта,

но и его импульс. Уже Рентген заметил, что эти лучи испытывают диффузное рассеяние во всех телах. Это рассеяние, отчасти происходящее с неизменной длиной волны, как это было давно известно в случае света, было одной из основных предпосылок успешности опытов по интерференции в кристаллах. Но Комптон показал, что наряду с этим появляется рассеяние с увеличенной длиной волны, иначе говоря, с уменьшенной частотой. Теория этого явления, развитая Комптоном и независимо от него П. Дебаем, является по существу применением законов сохранения энергии и импульса к взаимодействию между квантом света и свободным электроном. Квант света несет с собой определенные энергию и импульс. После удара часть энергии и импульса переходит к электрону, а квант летит дальше в другом направлении с уменьшенной энергией и, следовательно, уменьшенной частотой. Это представление подтвердилось во всех соответствующих опытах.

Однако мы зашли слишком далеко вперед и должны немного вернуться. В 1875 г. Генрих Фридрих Вебер (1842—1913) получил для удельной теплоты обеих модификаций углерода — алмаза и графита, а также для бора и кремния гораздо меньшие значения, чем это вытекает из закона Дюлонга — Пти (гл. 10). При этом он показал также, что при возрастании температуры эти значения все больше и больше приближаются к теоретическим значениям. Эйнштейн, который в качестве цюрихского студента слушал Вебера, дал в 1907 г. теорию этого явления. Согласно статистике Больцмана — Гиббса энергия гармонических осцилляторов является линейной функцией абсолютной температуры; поэтому удельная теплота системы, состоящей из подобных осцилляторов, остается постоянной. Но согласно статистике Планка энергия при падении температуры уменьшается гораздо быстрее и удельная теплота падает при низких температурах экспоненциально до нуля. Благодаря тому, что Эйнштейн приписал атомам твердых тел устойчивые положения покоя, вокруг которых они колеблются с определенной частотой, он

смог качественно объяснить наблюдаемое уменьшение удельной теплоты. В 1911 г. П. Дебай дополнил это представление: он приписал упругим собственным колебаниям твердого тела энергию, заданную Планком для осциллятора. Так получился знаменитый закон пропорциональности удельной молярной теплоты третьей степени температуры, который хорошо описывает факты при температуре, близкой к абсолютному нулю. Измерения В. Нернста и других подтвердили это впоследствии для многих тел.

Три важных открытия принес 1913 г. Во-первых, Дж. Франк и Г. Герц исследовали торможение электронов атомами газа при их соударениях; перенос энергии от ударившегося электрона на встреченный им атом происходит лишь в определенных дискретных количествах, зависящих от природы атома. Объяснение было очевидным: атомы имеют дискретные состояния энергии, точно так же, как это утверждал Планк для резонатора, но эти уровни энергии не равноотстоящие. Если атом будет возбужден, находясь в начальном состоянии, т. е. на самом низшем уровне, то электрон должен доставить ему разницу в энергии между самым высоким уровнем и основным; тогда электрон теряет точно это количество энергии. Те же исследователи показали также, что отнятая у электрона энергия зачастую испускается в виде светового кванта и что частота этого излучения вычисляется из равенства энергии кванта $h\nu$ и потерянной электроном энергии. В работах Франка и Герца нашла, таким образом, прямое экспериментальное подтверждение гипотеза о дискретных уровнях энергии.

Вторым большим экспериментальным открытием в течение 1913 г. было открытие расщепления спектральных линий водорода под действием электрического поля, обнаруженное Йоганном Штарком. Но большее значение, чем оба эти открытия, имело теоретическое открытие Нильсом Бором атомной модели, которая

представляет собой изменение модели Резерфорда путем введения квантовых условий. В то время как модель Резерфорда допускала для движения электрона вокруг атомного ядра непрерывный ряд траекторий, эти квантовые условия отобрали из них дискретный ряд круговых траекторий. Согласно обобщению А. Зоммерфельда (1916) допустимы также эллипсы. Квантовые условия гласили: фазовые интегралы для каждого дозволенного пути являются целыми кратными кванта действия h . Но так как с каждой орбитой связана также энергия движения, то тем самым получается теория дискретных уровней энергии. Если атом при испускании одного кванта переходит от более высокого уровня E_1 к более низкому уровню E_2 , то в соответствии с идеями, подтверждаемыми фотоэлектрическим эффектом, квант должен иметь частоту

$$\nu = \frac{E_1 - E_2}{h}. \quad (1)$$

Напротив, при поглощении одного кванта энергии $h\nu$ атом переходит от состояния E_2 к состоянию E_1 . Это, между прочим, мысль, которую уже в 1912 г. применил Дж. Дж. Томсон для объяснения характеристических K -, L -, M -излучений элементов. Так, по Бору, возникают линейчатые спектры.

Первую победу эта теория одержала после объяснения Бором спектра водорода. В 1885 г. Иоганн Якоб Бальмер (1825—1898) указал на пропорциональность частот линий, лежащих в видимой области, выражению $\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}$, причем m может принимать все значения ряда чисел 3, 4, 5, 6 и т. д. Теперь Бор нашел для своих круговых орбит (а Зоммерфельд также для допущенных им эллипсов) дискретные уровни энергии, пропорциональные $\frac{1}{m^2}$; коэффициент пропорциональности — универсальная постоянная. Следовательно, частоты, соответствующие переходам от одного из этих уровней к

другому, согласно соотношению (1) точно удовлетворяют формуле Бальмера. Коэффициент пропорциональности — константа Ридберга — получается в соответствии с очень точными измерениями Ф. Пашена (гл. 4). При этом оказалось, что первоначальная теория Зоммерфельда имеет то преимущество, что она для любого уровня энергии невозбужденного атома допускает несколько орбит. При возбуждении атома электрическим или магнитным полем различные орбиты первоначально единого уровня получают немного отличающиеся между собой значения энергии; уровень «расщепляется», и этому соответствует расщепление спектральных линий согласно приведенной формуле (1). Так стала возможной теория эффекта Штарка, которую дали еще в 1916 г. Карл Шварцшильд (1873—1916) и П. С. Эпштейн. В том же году Дебай и Зоммерфельд разработали теорию нормального эффекта Зеемана.

Если атомное ядро окружено более чем одним электроном, как это имеет место у всех элементов, за исключением водорода, ионизованного гелия и других многократно ионизованных атомов, то вычисление квантовых траекторий и уровней энергии удастся только с приближением. Но и тогда атомная модель Бора дает общую систематику линейчатых спектров, включая спектры, лежащие в области рентгеновских лучей. Благодаря квантовым условиям становится возможной также систематика полосатых спектров, испускаемых многоатомными молекулами. Экспериментальные факты, накопленные спектроскопистами в течение десятилетий, сделали возможным глубокое объяснение свойств электронных оболочек атомов в свете теории квантов.

Под руководством В. Косселя (1916) был открыт путь для понимания казавшейся ранее таинственной периодической системы химических элементов. В 1913 г. рентгеноскопия окончательно установила, что эта система представляет собой классификацию элементов соответственно возрастанию зарядов ядер. Но как объ-

яснить приблизительную периодичность химических свойств и спектральных линий? Этот вопрос совершенно висел в воздухе до 1925 г., когда С. Гоудсмит и Г. Е. Уленбек приписали на основе спектральных данных электрону магнитный момент и момент вращения, «спин», — две величины, тесно связанные с константой Планка. В том же году В. Паули установил «принцип исключения», утверждающий, что в электронной оболочке атома не существует двух электронов, которые имели бы одинаковые значения всех квантовых чисел. Исследование, шаг за шагом контролируемое спектральным наблюдением, показало, почему первые периоды системы содержат по 8 элементов, следующие по 16, затем по 32, почему, далее, каждый период начинается со щелочного металла и заканчивается благородным газом. Еще раз, таким образом, два совершенно различных круга идей — старый из химии и новый из квантовой теории — неожиданно встретились и естественно объединились.

Благодаря атомной модели Бора новый подъем испытала также теория магнетизма. Движение электронов по определенным орбитам возобновляло гипотезу Ампера о молекулярных токах (гл. 5). Теперь присоединилось еще указание величины момента каждого элементарного магнита. Это — целое кратное «магнетона Бора» — величины, опять-таки тесно связанной с константой Планка h . Правильность этого теоретического следствия подтвердили в 1921 г. В. Герлах и О. Штерн, изучая магнитное отклонение лучей атомов серебра, причем магнитный момент этих атомов оказался точно равным одному магнетону.

Теория Бора при всех своих больших и прочных успехах имела, однако, одну систематическую ошибку.

Она применяла классическую или релятивистскую механику для определения орбит электронов и после этого без всякой внутренней связи с этим определением изгоняла преобладающее большинство этих орбит, как не удовлетворяющих квантовым условиям. Более цельной и еще более успешно объясняющей спектры является основанная в 1924—1926 гг. волновая, или квантовая, механика, которая в последнее время совершенно вытеснила свою предшественницу.

Первый шаг сделал в 1924 г. Луи де Бройль. На основе теории относительности он сопоставил с каждым движением материальной точки волну, длина которой вычисляется из механического импульса частицы посредством константы Планка h . Совершенно из других соображений Э. Шредингер в 1926 г. установил для такой волны дифференциальное уравнение в частных производных, подобное волновому уравнению. Он показал, что из этого уравнения при подходящих граничных условиях можно вывести заключение о ряде дискретных значений энергии. Для атома водорода он получил те же уровни энергии, что и в теории Бора; его теория допускала, таким образом, также формулу Бальмера для спектра водорода. В 1925 г. Борн, Гейзенберг и Иордан создали квантовую механику, которая хотя и казалась вначале отличной от теории Шредингера, но все же была математически идентична с этой теорией, как это доказал Шредингер еще в 1926 г. Отношение между длиной волны и импульсом, установленное де Бройлем, входило также и в эту теорию.

Квантовая механика математически применяется с большим мастерством, но ее физическое содержание, по моему мнению, до сих пор не вполне ясно. Она опирается на результаты спектроскопии, значение которых особенно велико в связи с тем, что здесь в измерениях достигается совершенно необычная для физики точность, превосходящая даже точность знаменитых астрономических измерений. Для материальных волн имеется хотя менее точное, но зато более наглядное

доказательство. Как предположил В. Эльзасер в 1925 г. (гл. 12), электронные лучи, когда они падают на кристаллы, дают явления интерференции, подобные тем, которые наблюдаются в случае рентгеновских лучей. Это подтвердили в 1927 г. Дэвиссон и Джермер, а также Г. П. Томсон. Подобные опыты с диффракцией лучей атомов гелия, атомов и молекул водорода произвели в 1929 г. О. Штерн и в 1931 г. Т. Г. Джонсон. Все эти опыты количественно подтвердили формулу де Бройля.

Достижения этой теории накапливались очень быстро. Особенно поражающий успех она имела в применении к радиоактивному распаду при испускании α -лучей. Согласно этой теории существует «туннельный эффект», т. е. проникновение через потенциальный барьер частицы, энергия которой, согласно требованиям классической механики, недостаточна для перехода через него. Г. Гамов дал в 1928 г. объяснение испускания α -частиц, основанное на этом туннельном эффекте. Согласно теории Гамова атомное ядро окружено потенциальным барьером, но α -частицы имеют определенную вероятность его «перешагнуть». Эмпирически найденные Гейгером и Нэттолом соотношения между радиусом действия α -частиц и полупериодом распада (гл. 11) получили на основе теории Гамова удовлетворительное объяснение.

Наконец, историческое значение имела классическая работа В. Гейтлера и Ф. Лондона (1927) о молекуле водорода H_2 . В этом исследовании химическая связь между одинаковыми или подобными атомами была сведена к «энергии обмена». Представление об этой энергии, не имеющей аналога в прежней физике, является необходимым математическим следствием из волнового уравнения Шредингера. Посредством этого же понятия, примененного к электронной проводимости в металлах, Вернер Гейзенберг разрешил в 1928 г. старую загадку ферромагнетизма. Благодаря «явлению обмена» у железа, никеля и кобальта (но не у других металлов) магнитные моменты электронов оказываются

ориентированными параллельно, что и приводит к ферромагнетизму.

Дальнейшее развитие квантовой теории, например вопрос о совместимости волнового и корпускулярного представлений, в настоящее время не является еще исторически зрелым. Здесь мы подошли к границам нашего изложения.

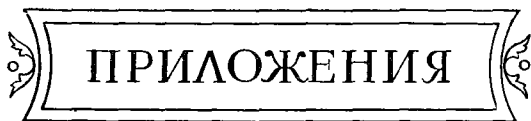
Во всяком случае характерной чертой современной квантовой физики является то, что она не может ничего другого сказать о процессе, кроме вероятности его появления в определенный момент времени. Она вычисляет, например, вероятность освобождения электрона посредством света определенной интенсивности и частоты. Но установление причинной обусловленности лежит вне ее возможностей. Это та же черта, которую Швейдлер (гл. 11) заметил еще в радиоактивных превращениях, а позже Эйнштейн в поглощении и испускании света. Но законы сохранения энергии и количества движения имеют и в квантовой физике строгую значимость.

После 1900 г. в течение многих лет Планк стремился уничтожить пропасть между классической и квантовой физикой или хотя бы перебросить мост между ними. Он потерпел неудачу, но его усилия не были напрасными, так как доказали невозможность успеха таких попыток. Следствием этого является учение о «дополнительности», созданное в 1927 г. Нильсом Бором; речь идет о «дополнительности» старого корпускулярного представления об элементарных частицах и их волнового понимания в квантовой механике. В настоящее время к этому учению присоединились широкие круги физиков. Что покажет в этом отношении будущее — уже не является вопросом истории физики.

доказано, что $E = h\nu$ и $p = h\lambda^{-1}$

и $E = mc^2$

и $p = mv$

A decorative banner with a double-line border and ornate, symmetrical flourishes at each end. The word "ПРИЛОЖЕНИЯ" is written in a bold, serif font across the center of the banner.

ПРИЛОЖЕНИЯ



МАКС ЛАУЭ

МОЙ ТВОРЧЕСКИЙ ПУТЬ В ФИЗИКЕ *)

АВТОБИОГРАФИЯ

Мои проникательные родственники рано поняли, что я предназначен быть «книжным человеком». Когда мне было 9 или 10 лет, мой дедушка Теодор Церренер, крепко любивший меня, на рождественские праздники подарил мне десяти томное издание Брэма «Жизнь животных». Я вспоминаю, как часто рассматривал красивые картинки, и я до сих пор сохранил наглядное представление о главных видах животных. Однако у меня никогда не было склонности к биологии. Я увлекался чтением Брэма, будучи мальчиком, еще не размышляющим о своем призвании. Позднее моя милая мать как-то говорила о возможности для меня юридической карьеры. Но и это заглохло, так как вскоре на первый план выступили у меня совсем другие интересы.

В гимназии имени имп. Вильгельма в Берлине (куда мы переселились из Познани в связи с переводом моего отца) я услышал, не помню в какой связи, о факте выделения меди из медного купороса под действием электрического тока. Это первое соприкосновение с физикой произвело на меня огромное впечатление. На несколько дней я впал в такое глубокое раздумье, что не мог ничего делать; и моя мать с тревогой спрашивала меня, что со мной происходит. Узнав, в чем

*) Текст для перевода взят из книги: Hans Hartmann, Schöpfer des neuen Weltbildes, 1952; публикуется с некоторыми сокращениями. (Прим. ред.)

дело, она позаботилась о том, чтобы я мог часто посещать «Уранию». Это было научно-популярное общество, в помещении которого на Таубенштрассе было много физических аппаратов, предназначенных для опытов. Стоило только нажать на кнопку согласно приложенному разъяснению и сразу можно было наблюдать то или иное поучительное явление. Лишь гораздо позднее, в 1930 г. на съезде физиков в Кенигсберге, я узнал, что творцом этого способа обучения, производящего очень сильное впечатление, был Евгений Гольдштейн, открывший каналовые лучи; именно он устроил эту экспериментальную установку. Кроме того, я слышал несколько докладов в аудитории «Урании». Смутно помню также о своих посещениях обсерватории этого общества, расположенной на Инвалидштрассе. В 1913 или 1914 г. я сам читал лекцию в «Урании» и с умилением вспоминал прежние времена.

Мы пробыли в Берлине только один год и три месяца. Затем последовал перевод моего отца в Страсбург. Там я поступил в известную протестантскую гимназию, и мне не пришлось сожалеть о перемене учебного заведения. Во главе этой гимназии, принадлежащей к эльзасской церкви, стоял высоко образованный педагог и благородный человек по фамилии Файль. Он хорошо знал, что каждая индивидуальность имеет право развиваться соответственно своим природным задаткам. Несмотря на сильный теологический уклон, он отдавал должное математике и естествознанию и не раз защищал меня от других учителей, которые не поощряли моих склонностей к математике и физике. Еще долгое время после школьной учебы я посещал этого директора в Иене, где он жил в отставке. Он умер в 1938 г. в возрасте свыше 80 лет.

Высокой похвалы заслуживает подбор Файлем преподавательского состава. Конечно, были в гимназии и отжившие свой век люди, которые не могли ни приспособиться к новой политической обстановке, ни найти себе другой должности. Это были озлобленные люди,

не пользовавшиеся никаким педагогическим авторитетом. Но и для них Файль старался сделать жизнь сносной. Он терпеть не мог политического гнета и, конечно, сам его никогда не оказывал. Если, например, какой-нибудь учитель выражал сомнения по поводу необходимости держать речь в день рождения императора, Файль немедленно освобождал его от этой обязанности.

Из учителей у меня в памяти остался профессор Эрдманн, теолог, который кроме религии преподавал также древние языки и немецкий язык. Среди всех моих воспитателей это был, пожалуй, мудрейший.

Особенно ясно об этом свидетельствуют следующие его высказывания. Обучение немецкому языку в старших классах заключалось, конечно, в изучении истории литературы. Эрдманн, который охотно выходил за пределы предписаний учебного плана, рассказывал однажды о Рихарде Вагнере и об его «Кольце Нибелунгов». При этом он горячо возражал против морали Зигфрида и предсказывал всякие ужасы, если эта мораль будет применена на практике. Другое его высказывание гласило: «Кто с воодушевлением посвящает себя большому делу, тот не погибнет бесследно». Я не раз в последующей своей жизни встречал подтверждение этих мудрых высказываний моего учителя.

Почему я обо всем этом рассказываю здесь, где я должен описать мой творческий путь в физике? Этот путь нельзя отделить от общего духовного развития, особенно в те годы, когда мальчик становится юношей и возникают основы для его дальнейшего созревания. Я сомневаюсь также в том, посвятил ли бы я себя целиком чистой науке, если бы не пришел в тесное соприкосновение с греческой культурой и греческим языком, что возможно только в классической гимназии. Если оставить в стороне исключения, то именно у греков можно научиться подлинной радости чистого познания. Чтобы привлечь учащуюся молодежь к науке, в том числе к естествознанию, шире, чем это было в последние десятилетия, я предлагаю: пошлите детей в

гимназию, и пусть они там основательно занимаются древними языками.

Но при этом учите их также читать и любить немецких классиков. Людвиг Больцман, великий венский физик, умерший в 1906 г., пишет в предисловии к своим популярным сочинениям (1905): «Без Шиллера мог, конечно, быть человек с моим носом и бородой, но это не был бы я». Я целиком подписываюсь под этим.

В этой связи стóит, пожалуй, упомянуть, что из тех поколений школьников, которых воспитывал Файль, кроме меня вышел еще ряд преподавателей высших школ, а именно: историки Вольфганг Виндельбанд и Роберт Гольцманн (оба в Берлине), врачи Фридрих Гольцманн (Карлсруэ) и Вольфганг Вайль (Иена), юрист Эдвард Кольрауш (Берлин), химик Вальтер Маделунг (Фрейбург), физики Эрвин Маделунг и Марианус Черни (оба во Франкфурте-на-Майне). Однако вернемся к нашей теме.

Огромное влияние оказал на меня профессор Геринг, который преподавал математику и физику. Это был старый холостяк и чужак с тысячью странностей, которые для всякого другого человека сделали бы невозможным его занятия с гимназистами. Но все чудачества компенсировались высоким духовным превосходством, которое заставляло подчиняться ему даже злейших шалунов класса, — а мы не были «образцовыми учениками». Устроить у него на уроке какое-нибудь бесчинство — это было невозможно. Никому это даже не приходило в голову. Поэтому он никогда не нуждался в применении наказаний или брани. Самое большее, что я могу вспомнить, это были слова, относившиеся к одному негодному мальчишке: «Губер улыбается, да, Губер улыбается». Губер тотчас же перестал улыбаться. Юность обладает тонким чутьем в отношении духовного значения человека и отдает ему дань большого почитания.

У проф. Геринга я занимался начальной математикой, и надо сказать, что скоро стал одним из лучших учеников. Мы изучали обычную школьную математику:

алгебру до квадратных уравнений, геометрию Эвклида и других геометров древности, логарифмическое и тригонометрическое вычисление и т. д. Давно я уже многое забыл, но когда мне пришлось иметь дело с известной задачей Аполлония о касающихся дугах, я смог ее заново вполне освоить. В этой стадии не так важно приобретенное знание, как развитие способности научного мышления. «Образование есть то, что остается, когда все выученное уже забыто», — гласит часто цитируемое изречение, не знаю каким великим человеком высказанное. Именно так обучал Геринг. Он скоро убедился в моем математическом даровании и различными небольшими поощрениями побуждал меня к занятиям.

В удивительном противоречии с этим находилось полное отсутствие у меня способности к арифметическим вычислениям. На выпускном экзамене, когда для письменной работы был предложен ряд задач и среди них одна с арифметическими вычислениями, преподаватель (это уже не был Геринг) сказал мне: «Эту задачу вы не пробуйте; у вас все равно ничего не получится». Лишь в университете я овладел этими вычислениями и старался производить их правильно, так как это было необходимо для моих физических занятий.

У Геринга я также впервые серьезно изучал физику. Главное влияние оказали на меня при этом не редкие опыты с недостаточными средствами гимназической лаборатории, а способность учителя развивать у учеников научное мышление. Большое значение имело также то, что он умел указать нам для чтения соответствующие книги. По его совету в октябре 1896 г. я достал доклады и речи Гельмгольца, и я сейчас еще ясно помню, как Геринг на своем тюрингенском диалекте рекомендовал мне эти два тома: «Это популярные сочинения, но для людей, которые имеют голову на плечах». Я с большим рвением изучал эти доклады, перечитывал то, что мне было непонятно.

Благодаря им, а также благодаря работе Гельмгольца «Учение об ощущениях тонов» мой горизонт

значительно расширился. Это — классические произведения как по содержанию, так и по форме. Я не ограничивался чтением только докладов, посвященных физике. Я читал также академические юбилейные речи и наслаждался мыслью, что я позже смогу бывать в университете в качестве студента. Но больше всего я любил чудесную автобиографию, которую дал Гельмгольц в речи в день своего семидесятилетия. Я пытался также, хотя с меньшим успехом, читать его философские доклады.

Однако эти школьные годы не оказали бы такого решающего влияния на мое дальнейшее развитие, если бы я не сблизился с двумя школьными товарищами: Отто Б. и Германом Ф., имевшими те же склонности, что и я. На основе общности наших интересов мы составили математический триумvirат, хорошо известный всей школе. Один из моих друзей, Отто Б., происходил из высококультурной семьи профессора Страсбургского университета. Я мало встречался с его родителями и старшими братьями и сестрами. Но Отто Б. имел поразительную способность точно воспринимать то, что он слышал в семье, и очень интересно воспроизводить это потом для нас. Он также с полным пониманием читал обширную математическую и естественнонаучную литературу, которую находил в своем родительском доме, и сумел разбудить в нас любовь к такому чтению. Тайком мы втроем занимались дифференциальным и интегральным исчислением, рылись в многотомном учебнике физики Вюльнера, а также самостоятельно экспериментировали, как это обычно делают мальчики.

Эксперименты стали нам особенно удаваться, когда мы смогли купить маленький индукционный аппарат и получать с его помощью более или менее высокие электрические напряжения. В начале 1896 г. мы узнали о великом открытии Рентгена из его знаменитой брошюры, которую Герман Ф. вскоре после ее выхода получил от своего дяди — книгопродавца. Мы достали примитивные разрядные трубки и пытались найти в

них (конечно, без успеха) таинственные X-лучи, как их тогда называли. Поскольку квартиры наших родителей не были включены в городскую электрическую сеть, мы пользовались как первичными источниками тока элементом Бунзена и элементом с хромовой кислотой. Немало дырок было выжжено в наших платьях разными химикалиями. Особенно хорошо я помню самодельный гальванометр со многими витками и астатической парой игл на подвесе из волоска. Эти опыты дали мне уверенность, которой я не мог бы достигнуть при школьном эксперименте, в том, что разрядный ток лейденской банки отклоняет магнитную иглу. Много занимались мы оптическими явлениями, особенно интерференцией света и загадочной еще тогда диффракцией. Большая привлекательность занятий этими физическими явлениями связана с возможностью их непосредственного чувственного восприятия без измерительных инструментов. Мой особенный интерес к оптике, который позднее проявился в занятиях рентгеновскими лучами, восходит именно к этим школьным временам.

Увлекательные часы часто проводили мы втроем в мансарде родительского дома Отто Б. на Гётештрассе. Из окна открывался взору университетский сад вплоть до Шварцвальда, который виднелся на горизонте в виде синей полосы. Нередко мы втроем совершали туда, а также в Вогезы экскурсии, продолжавшиеся один или несколько дней. Мы вообще не были домоседами; мы исколесили на велосипедах большие расстояния по Рейнской равнине, плавали в большом или маленьком Рейне у Келя. Я часто переплывал Рейн, что, конечно, сильно облегчалось многими отмелями. Свобода, которую предоставляли нам наши воспитатели дома и в школе, давала возможность совершать такого рода прогулки за городом.

В этой свободе заключалась вся прелесть наших путешествий. Мы предварительно самостоятельно составляли планы, изучали географические карты и указатели, оценивали наши возможности ориентироваться

в горах при снеге и тумане. Наши экскурсии развивали не только наши мускулы, но имели также значение и для духовного созревания.

Триумвират, к сожалению, не сохранился до выпускных экзаменов. Годом раньше Отто Б. перешел в гимназию в Бадене; наследственное нервное заболевание лишило его возможности после сдачи выпускных экзаменов заниматься наукой и привело его, в конце концов, в 1904 г. к самоубийству. Я никогда не забывал его и до сих пор в своей работе чувствую то сильное влияние, которое он оказал на меня. Если бы он оставался здоровым, он был бы выдающимся, вдохновляющим студентов преподавателем университета и, возможно, стал бы также великим исследователем. Он погребен в Страсбурге.

Экзамены на аттестат зрелости я сдал в марте 1898 г. Подготовившись соответствующим образом, я находился перед экзаменами в спокойном, веселом настроении, в отличие от возбужденного состояния большинства моих товарищей, сдававших эти экзамены. В таком же настроении я сдавал в 1904 г. государственные экзамены в Геттингене и с легкой усмешкой наблюдал важность, с которой занимались этим делом некоторые экзаменующиеся и экзаминаторы. В аттестате зрелости я получил «хорошо» по религии, латыни и греческому языку, «удовлетворительно» по немецкому языку, французскому языку и истории, «очень хорошо» по математике и физике. По поводу немецкого языка в аттестате стояло следующее примечание: «Лауэ показал знания, соответствующие требованиям, и иногда хорошо выполнял задания. Его общий умственный уровень выше, чем его способность к устному и письменному выражению. Экзаменационное сочинение он выполнил удовлетворительно». Это — совершенно правильно. Всю свою жизнь я испытывал то, о чем вздыхал Шиллер: «Душа говорит, но, увы, она не может выразить себя». Говорить на чужом языке было для меня всегда мучением, и я никогда не мог сделать гладкий и правильный по словесной форме доклад.

В упомянутом перечислении выпускных экзаменов читатель сразу заметит отсутствие английского языка. В немецких гимназиях в то время его не изучали; я всегда позднее ощущал это как большой недостаток моего образования. После школьных лет я изучал английский язык, пользуясь научными журналами и книгами, в которых со временем все больше нуждался. Несколько месяцев я провел в Америке и там также укреплял свои навыки в английском языке. Меньше я занимался после гимназии французским языком. И все же я теперь лучше знаю французский, чем английский. «Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr» («Чего Гансик не выучит, того никогда не выучит Ганс»). Конечно, при этом играл существенную роль недостаток моих способностей к изучению языков; поэтому для меня было особенным благом, что гимназия вооружила меня знаниями грамматики и различных форм словесного выражения в ту пору, когда легче всего учиться. Это до известной степени компенсировало недостаток способностей.

Через несколько дней после испытаний на аттестат зрелости началась военная служба и, следовательно, перерыв в умственном развитии. Но все же в зимний семестр 1898/1899 г. я смог посещать лекции по экспериментальной физике Фердинанда Брауна в Страсбургском университете. Я до сих пор помню его блестящие опыты, его изящное и часто остроумное изложение. Я смотрел на опыты и слушал лекции с воодушевлением. Правда, служба иногда мешала мне вовремя приходить на лекции. Когда я опаздывал, это возбуждало внимание и вызывало некоторое беспокойство, особенно потому, что я носил мундир. И это дало повод к одному происшествию, характерному для стиля Брауна. Я не хочу утаить этот случай от читателя, тем более, что когда я рассказывал о нем Брауну через несколько десятков лет на съезде физиков, он от всей души хохотал над ним.

В конце семестра студенты должны были отмечаться; это являлось свидетельством аккуратности

посещения лекций. Само собой разумеется, что Браун, имея сотни слушателей, не мог знать об их посещаемости. Он сидел за столом в соседней с аудиторией комнате; студенты один за другим подходили к столу с матрикулами, которые он механически подписывал, не глядя даже на фамилии. Но когда я в своем мундире подошел к столу, он мельком взглянул на меня и с легким ироническим вздохом сказал: «О, да! Что вы посещали лекции, это я могу засвидетельствовать».

В дальнейшем я делал все возможное, чтобы регулярно посещать лекции. Когда я опаздывал, мне было очень трудно следить за ходом мысли лектора, особенно на лекциях по математике. Я никогда не мог понять, как студенты могут опаздывать на лекции, например, из-за своих общественных обязанностей в студенческом союзе. У меня в голове была только наука.

Да, но какая? В первом семестре это было для меня большим вопросом. С самого начала мне было ясно, что меня привлекают такие науки, как математика, физика и химия. По всем этим предметам я слушал многочисленные лекции, сначала в Страсбурге, а потом (с осени 1899 г.) в Геттингене. По физике и химии я проходил практику в большем объеме, чем тот, кто точно знал свою цель и старался ее достигнуть кратчайшим путем. В Геттингене под влиянием Вольдемара Фойгта мне, наконец, стало ясным мое призвание: теоретическая физика. Наряду с курсом лекций Фойгта этому решению способствовали опубликованные лекции Густава Кирхгофа, которые мне уже в школьные годы рекомендовал Отто Б.; о первом томе этих лекций, посвященном механике, также неоднократно говорил проф. Геринг. Решающим фактором было осознание поразительного факта, как много можно высказать о природе при помощи математических методов. С величайшим благоговением я иногда останавливался перед теорией, которая бросала яркий неожиданный свет на непонятные прежде факты.

Большое впечатление производила на меня также чистая математика, особенно при слушании блестящего курса лекций Давида Гильберта. В моих воспоминаниях этот человек остался величайшим гением, которого я когда-либо видел. Математика дает наиболее чистое и непосредственное переживание истины; на этом покоится ее ценность для общего образования людей. Еще в школе одной из моих лучших радостей было изящное законченное доказательство. И, однако, математика меня всегда интересовала постольку, поскольку я мог каким-либо образом применить ее к физике. Иначе занятия математикой мне представлялись «плаванием в пустом пространстве», напряжением силы без предмета, к которому она прилагается. Другие теоретики-физики иначе подходят к математике и, занимаясь самой математикой, достигают благодаря этому больших успехов в физике. Но, как я уже сказал, занятия чистой математикой — не в моей натуре, и я должен с этим примириться.

Несмотря на то, что лекции оказывали на меня большое влияние, еще больше, чем из них, я узнал из книг. Устная речь никогда не производила на меня такого впечатления, как то, что я видел написанным черным по белому. Чтение можно при желании прерывать и предаваться размышлениям о прочитанном. На докладе же всегда чувствуешь себя связанным ходом мысли говорящего и теряешь нить, если отвлекаешься. Во многих случаях лекции были для меня только стимулом, который заставлял углубляться в соответствующие книги.

Особенные затруднения, но вместе с тем и большую радость, доставила мне в этом семестре, а также позже теория электричества и магнетизма Максвелла, которая за несколько лет перед этим получила в Германии полное признание. Мне, как и многим другим, эта теория открыла новый мир. Понимание того, как сложнейшие разнообразные явления математически сводятся к таким простым и гармонически прекрасным уравнениям Максвелла, является одним из сильнейших

переживаний, которые доступны человеку. Больцман цитировал однажды стихи по поводу этих формул:

«War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb,
die mir das innre Toben stillen,
die Kräfte der Natur rings um mich her enthüllen?»

(«не бог ли написал эти знаки, которые успокоили тревогу души моей и раскрыли мне тайну сил природы?») Изучение этой теории не принесло никакого ущерба моим занятиям оптикой; напротив, трактовка оптики как части электродинамики только способствовала еще более углубленному изучению.

Я оставался в Геттингене четыре семестра; зимой 1901/1902 г. я поступил в Мюнхенский университет. Но там в то время как физик-теоретик я не мог почерпнуть многого. Кафедра Больцмана еще не была замещена. У меня остались в памяти только лекции по теории функций Альфреда Принсгейма и практикум по физике у В. К. Рентгена, во время которого Рентген очень обстоятельно и видимо с удовлетворением проверял мои знания. Тогда же я впервые узнал зимние Альпы. В летние каникулы я много раз совершал большие путешествия через горы с Германом Ф. и, тогда еще физически дееспособным, Отто Б. Но зимние экскурсии в горы были для меня чем-то новым и прекрасным. Жаль только, что тогда в Германии не было еще лыжного спорта. Не без труда ходили мы, глубоко погружаясь в мягкий снег, по Рофангебирге и были вынуждены пользоваться салазками, чтобы проникнуть от Брюнштейна до Вендельштейна. Мы — это члены математического общества в Мюнхене, в которое я охотно вступил, так же как прежде в Геттингене и позже в Берлине. В этих научных корпорациях веял хороший дух. Лыжный спорт я изучил лишь в 1906 г. на Фельдберге под руководством Пауля Друде и Вилли Вина. Но я уже не был тогда настолько молод, чтобы достигнуть мастерства; я только мог добиться уверенности в себе во время горных экскурсий, и этого было доста-

точно, чтобы чувствовать большую радость от занятий этим прекрасным спортом. Каждый март, вплоть до мировой войны, мы отправлялись с Вином в лыжную прогулку на Миттенвальд (Пауль Друде умер летом 1906 г.). Воспоминания об этих выдающихся ученых, знавших также спортивные радости, относятся к числу наиболее приятных воспоминаний того периода моей жизни.

Летом 1902 г. я переселился в Берлин. Меня привлекали там прежде всего мои старые школьные друзья Герман Ф., который готовил в то время докторскую диссертацию по химии, и Отто Б., который все время делал безнадежные попытки заниматься научными исследованиями. Я приехал туда лишь в конце июня (первые восемь недель семестра были поглощены военными занятиями), но получил матрикул без особых затруднений.

Сразу же я пошел на лекцию Планка по теоретической оптике. Я знал его как автора учебника по термодинамике, и мне было известно, что он много занимался оптикой. Но о его главном великом деянии — открытии в 1900 г. закона излучения и квантово-теоретическом обосновании его — я ничего не знал; это были тогда еще непризнанные и потому мало известные исследования.

Я смог легко понять лекцию, несмотря на то, что она относилась уже к концу курса, потому что я слушал лекции Фойгта в этой области. Мне даже удалось обратить на себя внимание Планка благодаря изящному решению поставленной им задачи во время упражнений, относящихся к этому курсу. Одновременно я посещал небольшой курс лекций О. Луммера по «специальным проблемам оптики». Речь шла об явлениях интерференции, прежде всего на решетке, на ступенчатой решетке и в плоскопараллельных пластинках. Как раз тогда Луммер совместно с Герке ввел в спектроскопию плоскопараллельные стеклянные пластинки. Луммер был руководящим членом Государственного физико-технического института и приносил с собой

оттуда в физический институт университета, где читал лекции, замечательные аппараты для демонстрационных опытов. Он способствовал развитию во мне оптического инстинкта, который впоследствии оказался таким полезным для моей работы. Тему для диссертации я попросил у Планка. Принимая во внимание указанный курс лекций, он дал мне тему по теории интерференции на плоскопараллельных пластинках. Над этим я работал до лета 1903 г. В июле этого же года я с отличием сдал докторский экзамен по математике и, соответственно положению, по философии как побочной специальности. Об этом надо кое-что сказать.

Я никогда не слушал курса лекций по философии, но много и глубоко занимался философией Канта. Сначала я читал ее изложение в «Истории философии» Куно Фишера, позже неоднократно перечитывал «Критику чистого разума» Канта, а также другие его сочинения, прежде всего по этике. Стимул для этих занятий был дан еще в гимназические времена Отто Б., но мне кажется, что только в университетские годы я настолько созрел, чтобы понять философию. Она совершенно преобразила мое бытие; даже физика кажется мне с тех пор наукой, настоящим достоинством которой является то, что она дает философии существенные вспомогательные средства. Мне представляется, что все науки должны группироваться вокруг философии, как их общего центра, и что служение ей является их собственной целью. Так и только так можно сохранить единство научной культуры против неудержимо прогрессирующего специализирования наук. Без этого единства вся культура была бы обречена на гибель.

Присуждение ученой степени производилось тогда в очень торжественной форме. Между прочим, декан читал формулу присяги, в которой значилось: «*Te sollemniter interrogo, an fido data polliceri et confirmare religiosissime contitueris, te artes honestas pro virili parte tueri, provehere atque ornare velle; non lucri causa neque ad vanam captandam gloriolam, des quo divinae*

veritatis lumen latius propagatum effulgeat» *). Эту клятву, произнесенную под присягой, я всегда старался сдерживать.

Во время работы над диссертацией я еще слушал у Планка термодинамику и в высшей степени замечательный курс по теории газов и тепловому излучению. На меня тогда произвели сильнейшее впечатление больцмановский принцип связи энтропии и вероятности, закон смещения Вина и доказательство его Планком в законченной форме и, наконец, смелый вывод Планком закона излучения из гипотезы конечных квантов энергии. К этому прибавлялось обаяние, которое исходило от этого человека и которое чувствовал каждый его слушатель. Все это укрепляло во мне чувство, что берлинский университет является моей духовной родиной.

Университет, но не город. Я всегда чувствовал нерасположение к большим городам. Поэтому я переехал для продолжения моего учения, которое я считал необходимым, в типичный маленький городок Геттинген и провел в нем еще 4 семестра. Я слушал здесь электронную теорию у Макса Абрагама — атомистическое развитие теории Максвелла — и геометрическую оптику у Карла Шварцшильда. Последняя завела меня слишком далеко в специальном направлении. В это же время я сдал государственный экзамен на право преподавания в высшей школе. Это я делал между прочим и удивился тому, что получил оценку «хорошо».

В связи с тем, что я выбрал для экзамена в качестве специальности химию, я должен был, согласно установленному порядку, сдать также экзамен по минералогии. Но этим предметом я никогда не занимался.

*) «Торжественно вопрошаю тебя! Решился ли ты клятвенно обещать и самым священным образом подтвердить то, что ты желаешь рать по мере сил своих о благородных искусствах, продвигать их вперед и украшать их; и не ради корысти или стяжания пустой и ничтожной славы ты будешь делиться своими знаниями, но для того, чтобы шире распространялся свет божественной истины».

В первые семестры в Геттингене я сделал робкую попытку прослушать курс лекций по минералогии, но вскоре отказался от этого. Из книг я потом усвоил элементарнейшую кристаллографию, т. е. собственно знание классов кристаллов. И это было все. Испытание принимал геолог проф. Кенен, и я до сих пор помню, как росло его веселое настроение по мере того, как он все более убеждался в моем полном невежестве. Комиссия объявила экзамен сданным благодаря проявленным мною знаниям в химии, необычным для кандидата, сдающего государственные экзамены. Этому способствовало также ясное понимание того, что никакого применения из этого экзамена я никогда не сделаю.

Но чем объясняется этот большой пробел в моем физическом образовании, а также более старых и более молодых, чем я, физиков? В академическом образовании кристаллография почти совсем растворилась в минералогических курсах, касающихся главным образом описательной стороны минералогии. В курсах по физике кристаллы обычно упоминались в оптике и немного в учении об упругости. И это было все. Подобным образом поступал и Фойгт, так много сделавший для кристаллофизики. Его основополагающее сочинение по кристаллофизике вышло лишь в 1910 г. Впрочем, может быть, эта неотягощенность знаниями имела благоприятное следствие в том отношении, что я позднее (в 1912 г.) смог приступить к вопросам кристаллофизики без всякого предвзятого мнения. Значительно позже, в мои франкфуртские годы (1914—1918), я до некоторой степени восполнил этот пробел, но никогда уже не смог достичь того наглядного пространственного представления, которым обладают те, кто занимался кристаллофизикой в более молодые годы. Однако на меня повлияла любовь подлинных кристаллографов к их предмету, о которой почти растроганно говорит Фойгт в предисловии к своей книге.

Осенью 1905 г. Планк предложил мне освободившееся место ассистента в Институте теоретической физики. С радостью я принял это предложение и провел

на этом месте три года. Деятельность моя состояла в заведывании институтской библиотекой и просмотре письменных работ, которые Планк задавал студентам еженедельно после своих лекций. Вечером он требовал от ассистента доклада об этих работах и отбирал из них наиболее заслуживающие внимания с тем, чтобы днем обсудить их на практических занятиях. Я ревностно выполнял эти задания, будучи студентом. Но просмотр чужих работ был, пожалуй, еще более поучительным, потому что при этом я изучал возможные ошибки и недоразумения. А главное, я мог беседовать с Планком об этом и одновременно о других вопросах. В это же время начинается моя собственная научная деятельность. Правда, я уже в Геттингене опубликовал исследование, примыкающее к гипотезе Планка об естественном излучении. Это мое исследование касалось распространения естественного излучения в диспергирующих средах. Но теперь (опять-таки вслед за Планком) я смог глубже разобраться в обратимости отражения и преломления луча света.

Данная Планком формула для энтропии пучка света недвусмысленно показывала, что распределение энергии одного луча между двумя лучами, подобными ему в геометрическом отношении (и следовательно, например, равной длины), связано с увеличением энтропии, поскольку считалось, что их энтропии складываются. Если это так, то согласно второму закону термодинамики разделение луча на отраженный и преломленный лучи является необратимым процессом. Но простое оптическое рассмотрение интерференции показало, что оба эти луча благодаря их когерентности можно снова соединить в один, который ничем не будет отличаться от первоначального. Это была трудная задача. Применимо ли вообще второе начало к оптическим явлениям?

Объяснение дал вышеупомянутый принцип Больцмана, касающийся связи энтропии с вероятностью. Благодаря этому принципу стало ясно, что аддитивность энтропии должна иметь значение для некогерентных лучей, но не может быть применима к когерентным

лучам. Энтропия обоих лучей, возникших из одного луча путем отражения и преломления, точно равна энтропии первоначального луча.

Когда я после решающего обсуждения с Планком этой проблемы в доме, расположенном в Грюнвальде, вышел оттуда, то через час я обнаружил, что нахожусь в зоологическом саду; но я совершенно не понимал, как я туда попал и что я там искал. Так огромно было это переживание.

Однако я не собираюсь здесь входить в подробности каждой фазы моего исследования. Я знаю из других биографий, что это — сухое чтение, приятное, в лучшем случае, только для историков науки. Но некоторые главные пункты я все же здесь упомяну.

Когда я в 1905 г. возвратился в Берлин, я услышал в одном из первых физических курсов зимнего семестра (может быть, это был самый первый?) сообщение Планка о появившейся в сентябре месяце этого года работе Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». Преобразование пространства и времени, которое предприняла теория относительности, изложенная в этой работе, показалось мне необычным. Сомнения, которые позднее открыто высказывали другие физики, не были чужды и мне. Но эти идеи «работали» во мне и дальше, так как впоследствии под руководством Планка я сделал ряд собственных исследований. Так, в 1907 г. я смог показать, как знаменитый опыт Физо по интерференции в движущихся средах, считавшийся до тех пор неопровержимым доказательством существования светового эфира, может быть включен в теорию, отрицавшую существование подобной квазиматерии; также не оправдалось прежде само собой подразумевавшееся сложение скоростей света и тела.

Я не знаю, было ли только это или что-нибудь еще другое причиной того, что в 1910 г. я получил от издательства «Фр. Фивег и сын» предложение написать монографию о теории относительности. Я это сделал и стал таким образом автором первого систематического изложения этой теории. Моя книга встретила хороший

прием и в течение года выдержала четыре издания. Я писал ее, переехав в 1909 г. из Берлина в Мюнхенский университет, в маленьком рыбацком домике, который стоял на берегу озера вблизи парка, откуда открывался великолепный вид на сады и горы. Так хорошо мне впоследствии больше никогда не было.

В Мюнхенском университете кроме Рентгена работал тогда Арнольд Зоммерфельд, который за несколько лет перед этим был приглашен на пустовавшую кафедру Больцмана. Этот замечательный преподаватель высшей школы оказывал огромное влияние на своих слушателей. Между прочим, он излагал также теорию рентгеновских лучей, в которой дал свое понимание возникновения рентгеновских лучей на антикатоде рентгеновской трубки; эта теория впоследствии хорошо подтвердилась. Она целиком стояла на почве волнового представления о рентгеновских лучах и, таким образом, противоречила корпускулярной теории, энергично защищавшейся В. Г. Брэггом в Англии. Материал для решения вопроса о правильности одного из этих двух взглядов доставили опыты Вальтера и Поля в Гамбурге над диффракцией рентгеновских лучей на клинообразной щели. Эта диффракция была фотометрически исследована первым ассистентом Рентгена П. П. Кохом. Зоммерфельд с успехом применил относящуюся сюда теорию диффракции и смог получить среднее значение длины волны, правда грубое, но еще до сих пор применимое (появилось в 1912 г.). Наконец, в его курсе лекций говорилось о данном Баркла доказательстве поляризации рентгеновских лучей, а также о характеристическом рентгеновском излучении химических элементов. Таким образом, я жил там в атмосфере, насыщенной вопросами о природе рентгеновских лучей.

Сам Рентген тогда уже несколько отстранился от этого обсуждения. В течение лета он жил не в Мюнхене, а в Вейльгейме, находящемся в 60 километрах южнее Мюнхена. Для чтения лекций он ежедневно совершал поездки в поезде в Мюнхен и обратно. Он еще

руководил своим институтом, из которого выходили полноценные работы его ассистентов и докторантов. Сам он также еще работал; например, вместе с Иоффе он исследовал некоторые вопросы кристаллофизики, которые его давно занимали. Однако он был чрезвычайно осторожен в отношении опубликования своих результатов; все время искались новые подтверждения, и поэтому дело никак не приходило к завершению. На коллоквиуме он не появлялся и вообще принимал мало участия в новейших исследованиях. Он относился к некоторым теориям с легкой насмешкой. После опытов Фридриха и Книппинга долгое время он решительно отказывался признать объяснение интерференции. Напротив, он сразу же оценил значение предложенной в 1919 г. Ч. Т. Р. Вильсоном камеры для исследования радиоактивности и давал ей высокую оценку, как мне это известно из вернейшего источника. Я лично смог с Рентгеном спокойно поговорить только один раз. Это произошло во время поездки в Фельдафинг в переполненном поезде, где я нашел единственное свободное место в отделении третьего класса против того места, где сидел Рентген. Тогда у меня сложилось впечатление, что мы могли бы хорошо понять друг друга, если бы только представился к этому случай.

В 1919 г. я еще раз разговаривал с Рентгеном. Я зашел к нему в институт как раз в тот момент, когда он готовился опять ехать в Вейльгейм. Я сопровождал его пешком до вокзала. Но он говорил не о научных вопросах; он выражал свою радость относительно признаков восстановления порядка и с явным восхищением рассматривал действительно в высшей степени изящные системы трещин, окружавшие дырки от выстрелов на стеклах витрин.

Часто спрашивают, почему этот человек после своего выдающегося открытия 1895/1896 г. так упорно воздерживался от дальнейших научных публикаций. Выдвигалось много мотивов для объяснения этого факта, и некоторые из них были мало лестны для Рентгена. Я считаю все эти мотивы ложными. По моему

мнению, впечатление от того открытия, которое он сделал, когда ему было 50 лет, было таким сильным, что он никогда не мог от него освободиться. Несомненно, что любое великое духовное деяние подавляет того, кто его совершил. Кроме того, Рентген, как и другие исследователи, испытал слишком много неприятностей из-за разных дурных качеств людей. Насколько велико было открытие Рентгена, можно понять из того, что большое число других, часто выдающихся, физиков экспериментировали до Рентгена с теми же самыми вспомогательными средствами и тем не менее не могли открыть этих лучей. Подобное наступление на совершенно неизученную область требует, кроме острого глаза, также большого мужества и самообладания, которое дает возможность, несмотря на радость и возбуждение в связи с первым открытием, сохранить спокойствие и умственную ясность. Рентген должен был много потрудиться, чтобы между 1895 и 1897 годами написать три статьи, которые настолько исчерпывали предмет, что целое десятилетие не могло прибавить ничего нового. С какой гениальной тщательностью были написаны эти статьи! Я знаю лишь очень мало сочинений об открытиях, которые содержат так мало упущений. У Рентгена все было в полном порядке.

Особенное значение для меня имело то, что в Мюнхене была еще жива традиция исследования пространственной решетки кристаллов, о которой едва ли вспоминали где-нибудь в другом месте. Это объяснялось отчасти тем, что до 1897 г. в Мюнхене работал Леонард Зонке, который много сделал для математической обработки этой проблемы. В коллекциях университетского института можно было видеть модели решеток. Большая заслуга принадлежит также минералогу Паулю Гроту, который в своих лекциях постоянно говорил о решетках.

В феврале 1912 г. П. Ф. Эвальд, докторант Зоммерфельда, который должен был математически исследовать поведение световых волн в пространственной решетке из поляризующихся атомов, но не мог придти к

правильным результатам, явился ко мне на квартиру и попросил совета. Конечно, я не знал, как ему помочь. Но при обсуждении этого вопроса мне пришла вдруг в голову мысль, что надо попробовать пропускать через кристаллы более короткие волны, а именно рентгеновские лучи. Если атомы действительно образуют пространственные решетки, то должны получиться явления интерференции, подобные световой интерференции на оптических решетках. Это предложение обсуждалось более молодыми физиками Мюнхена, которые каждое воскресенье собирались за столом в кафе Луц. Один из этой компании, Вальтер Фридрих, который незадолго до этого получил ученую степень за работу о рассеянии рентгеновских лучей и на основании этого стал ассистентом Зоммерфельда, решил произвести экспериментальное исследование. Единственной трудностью было то, что Зоммерфельд сначала ничего не ожидал от этой идеи и предпочитал посадить Фридриха за опыты по изучению распределения направлений лучей, исходящих из антикатада. Но и это препятствие было преодолено, когда пришел на помощь Пауль Книппинг, докторант Рентгена. Фридрих и Книппинг начали опыты перед пасхой 1912 г.

Оба пришли к одному и тому же результату. Фотограмма излучения куска сульфата меди показала, наряду с первичным рентгеновским лучом, венчик дифракционного спектра решетки. В глубокой задумчивости шел я домой по Леопольдштрассе после того, как Фридрих показал мне эти снимки, и уже вблизи моей квартиры, находившейся на Бисмаркштрассе № 22, перед домом № 10 на Зигфридштрассе, мне пришла в голову мысль о математической теории этого явления. Незадолго до этого в статье для Энциклопедии математических наук я заново сформулировал восходящую к Шверду (1835) теорию дифракции на оптической решетке. Мне надо было только учесть наличие трех периодов пространственной решетки, чтобы объяснить новое открытие. Наблюдаемый венчик интерференционных лучей удалось хорошо связать с каждым

из трех условий интерференции, взятых в отдельности. Когда через две недели я количественно проверил теорию по другим лучшим снимкам и нашел, что она вполне подтвердилась, это был для меня решающий день.

Теория продолжала подтверждаться и в дальнейшем, и гораздо лучше, чем можно было ожидать. Это было особенно поразительно потому, что она представляла собой только приближение. Около 1920 г. точные измерения в Зигбановском институте в Упсала дали небольшие отклонения от нее. Необходимое для их понимания уточнение теории произвел П. Ф. Эвальд. Но эта первая «геометрическая теория» вполне удовлетворяла огромному количеству исследованных с тех пор случаев. Эта теория оказалась применимой даже для интерференции электронов в кристаллах (открытой в 1927 г., с одной стороны, С. С. Дэвиссоном и Л. Г. Джермером и, с другой стороны, Г. П. Томсоном), хотя не всегда так хорошо, как для рентгеновских лучей.

8 июня 1912 г. я доложил это открытие на заседании немецкого физического общества в физическом институте Берлинского университета, на том самом месте, на котором в декабре 1900 г. Планк впервые говорил о своем законе излучения и теории квантов. С тех пор возникла большая литература по экспериментальным и теоретическим вопросам в этой области. Когда я в 1941 г. в книге «Интерференция рентгеновских лучей» изложил только теоретическую сторону дела, то оказалось, что для этого требуется 350 страниц. Первый большой шаг вперед после моих опубликованных исследований сделали в 1913 г. В. Г. и В. Л. Брэгги.

Этот шаг вряд ли я сам мог бы сделать, так как он касался главным образом детального исследования отдельных кристаллических структур. Меня же во всех областях физики интересовали прежде всего большие общие принципы. Поэтому на меня такое большое впечатление производили лекции Планка, который глубоко излагал эти принципы и подчеркивал их значе-

ние. Принципиальные вопросы о природе рентгеновских лучей, с одной стороны, и кристаллов, с другой стороны, были достаточно решены при помощи опытов Фридриха и Книппинга. Брэгги отдавали предпочтение отдельным веществам; они углублялись в структуру хлористого натрия, алмаза и дальше до сложнейших силикатов. Физика нуждается в исследователях различного дарования и быстро попала бы в тупик, если бы все физики были одного и того же умственного типа.

История открытия интерференции рентгеновских лучей ясно характеризует ценность научной гипотезы. Уже задолго до опытов Фридриха и Книппинга многие физики пропускали рентгеновские лучи через кристаллы. Но их наблюдения ограничивались прямо проходившим лучом, относительно которого они не могли высказать ничего замечательного, кроме утверждения о его ослаблении при прохождении через кристалл; от их внимания ускользали гораздо менее интенсивные отклоненные лучи. Лишь гипотеза пространственной решетки кристалла дала мысль о необходимости исследовать эти лучи. Само собой разумеется, что эти лучи наблюдались бы независимо от применения более сильных рентгеновских трубок, появившихся в связи с прогрессом техники. Какой-либо случай все равно привел бы к их обнаружению. Но трудно предвидеть, когда это случилось бы. Мы можем только определенно сказать, что идея пространственной решетки была необходимой для объяснения факта существования этих лучей.

Как уже было сказано, я не собираюсь здесь давать полную картину моей научной работы и подробно входить в мои доклады о математической разработке теории интерференции рентгеновских лучей. Я хочу указать только на ряд опубликованных работ, в которых проявилось влияние вышеупомянутого изучения теории Максвелла. В течение нескольких лет до 1934 г. я был теоретическим консультантом Физико-технического государственного института и имел тесный личный и научный контакт с Вальтером Мейснером, которого я знал

еще со времени моей ассистентской работы как участника исследований Планка. Он был с тех пор сотрудником Государственного института и руководителем его лаборатории низких температур. Его особенно интересовала сверхпроводимость— удивительное исчезновение электрического сопротивления, обнаруживающееся у некоторых металлов при охлаждении до температуры жидкого гелия. Было известно, что достаточно сильное магнитное поле разрушает сверхпроводимость. Однако измерения показывали непонятную зависимость необходимой для этого силы поля от направления поля по отношению к оси проволоки; только в этой форме исследовали тогда эти металлы. Мне пришла в голову мысль, что сверхпроводящая проволока сама усиливает поле и именно таким образом, что у ее поверхности появляется значительно большее напряжение поля, чем на некотором отдалении от нее. Мое предположение о том, что для разрушения сверхпроводимости фактически всегда требуется одинаковая напряженность поля, можно было легко количественно оформить и перенести на другие формы тел, например на сверхпроводящие шары. Я доложил об этом в 1932 г. на сессии физиков в Бад-Наугейме при получении медали Планка. Поставленные в связи с этим опыты де Гааза и сотрудников лаборатории низких температур в Лейдене полностью подтвердили мое предположение. Позже я занимался еще термодинамикой сверхпроводимости и, примыкая к Фрицу и Гейнсу Лондону, расширением теории Максвелла с тем, чтобы включить в нее явление сверхпроводимости. Однако не удалось еще пока проверить на опыте все следствия; здесь остались существенные задачи, требующие своего разрешения в послевоенное время.

Все изложенное я писал в 1944 г., и оно должно было еще тогда пойти в печать. Обстоятельства военного и послевоенного времени помешали этому, и лишь теперь (1951 г.) представляется возможность опубли-

кования. Но за это время случилось многое, что должно найти свое отражение в моей автобиографии, и поэтому я решил ее дополнить. Я долго сомневался, подойдет ли этот материал под заглавие «Мой творческий путь в физике», и не лучше ли выбрать теперь новое заглавие: «Заключительный аккорд». Но, в конце концов, творческий путь у подлинных ученых кончается только со смертью.

Если я должен вернуться далеко назад, то надо рассказать следующее. В 1897 г. по окончании гимназии мне волей-неволей пришлось примириться с военной службой, хотя всеобщая воинская повинность, носившая на себе в те мирные времена печать Бисмарка, представлялась мне необоснованным вмешательством государства в мою личную жизнь и растратой времени, необходимого для научного роста. На первый взгляд может показаться, что после преодоления первых трудностей я жил неплохо; я стал офицером запаса, когда по настоянию моего отца подал соответствующее заявление и сдал при этом все требуемые испытания. Но все мое существо восставало против военщины. Я не буду здесь говорить о том, какие невоенные обстоятельства все более обостряли это чувство и в конце концов привели меня к тяжелому заболеванию. Но во всяком случае после этого я уже мог со спокойной совестью ходатайствовать об отставке, которую я и получил в 1911 г. В 1914 г., когда разразилась первая мировая война, в которой с Германией поступили несправедливо (это было тогда моим глубоким убеждением, и оно сохранилось до сих пор), я попытался снова поступить на военную службу. Я даже отказался от предложенной мне хорошей академической должности в Швейцарии, чтобы разделить участь немецкого народа, хотя и предвидел, что участь эта будет тяжелой. Но меня не приняли в армию; этому помешали те же самые обстоятельства, о которых, как я уже указывал, я не буду здесь говорить. Хотя я тогда очень страдал из-за этого отказа принять меня на военную службу, но, как оказалось впоследствии, все вышло к лучшему.

Когда меня опять хотели мобилизовать на гитлеровскую войну, я добился освобождения, сославшись на то, что меня забраковали. Моего единственного сына я уже в 1937 г. послал в Америку, чтобы его не заставили сражаться за Гитлера.

В моей жизни я проявил достаточно ума, чтобы по возможности держаться вдали от политической деятельности, которая выходила бы за пределы участия в выборах, и это — несмотря на мои сильные политические интересы; я знал свои границы. Но кто мог избежать политики после 1932 г., когда всё и вся было пронизано политикой и оценивалось политически? Особенно тяжело на меня действовали беззаконие и произвол национал-социализма, унижавшие мою гордость ученого, а также вмешательство в свободу науки и высших школ. У меня было всегда еще со школьных лет, мягко выражаясь, непреодолимое отвращение к антисемитизму, хотя меня самого это не касалось; никогда до 1933 г. при заключении дружбы у меня не было в мыслях вопроса о «расе» моего друга. Никогда, даже в 1918—1919 гг., я не был поэтому в таком отчаянии по поводу судьбы моей родины, как во время ее смертельной борьбы в 1933/1934 г., до тех пор, когда она 4 августа 1934 г. получила последний смертельный удар кинжалом в спину. Подобно многим другим, тогда я втайне часто цитировал стихи:

«Denk ich an Deutschland in der Nacht,
So bin ich um den Schlaf gebracht» *).

Нередко при пробуждении, вспоминая ужасы предыдущего дня, я спрашивал себя, не снится ли мне все это. Но, к сожалению, это была действительность, жестокая действительность.

Однако я не позволял этим настроениям парализовать мою волю. Поскольку это было в моих возможностях, я помогал жертвам национал-социализма, прежде

*) «Думая ночью о Германии,
Теряю я сон».

всего своевременными предостережениями; в особенности это относится к тем моим товарищам, которые лишались должности. В отдельных редких случаях эти люди смогли продержаться в Германии в течение всего этого злосчастливого времени благодаря помощи — не только моей. Гораздо чаще, однако, я расчищал дорогу для тех, которые эмигрировали, посылая в заграничные организации помощи сведения об их личности, семейных обстоятельствах, особых способностях и желаниях. В связи с тем, что почтовая цензура перехватывала подобные письма, эти сведения приходилось отправлять через границу более надежными путями. Однажды я перевез в Чехию на своем автомобиле одного человека, которого преследовали. Это было тогда гораздо легче, чем многие думают. Но все это должно было совершаться возможно более конспиративно.

Однако о своих убеждениях я заявил официально. Об этом свидетельствуют два документа, которые я публикую в приложении к этой работе. Первый документ — это текст речи, произнесенной мною как председателем Германского физического общества на съезде физиков в Вюрцбурге 18 сентября 1933 г. и вскоре затем опубликованной в физическом журнале. Другой документ — это мой некролог о выдающемся представителе физической химии Фрице Габере, увольнение и изгнание которого принадлежат к числу особо «доблестных» деяний гитлеровщины. Этот некролог появился весной 1934 г. в *Naturwissenschaften*. За это я получил выговор от Министерства культа. Там, видно, ощущали потребность сделать что-либо для моего «развлечения».

Будучи профессором Берлинского университета и заместителем директора Физического института имени имп. Вильгельма, я был связан с Берлином и после 1939 г. Эта связь ослабела, когда Министерство культа уволило меня на пенсию 1 октября 1943 г. Это было сделано за год до того, как я достиг соответствующего возраста, но, однако, я дал на это согласие. В середине

апреля 1944 г. я был в Берлине во время воздушных бомбардировок. Я видел, например, незабываемой ночью 15—16 февраля 1944 г., как горел Химический институт имени имп. Вильгельма, которым руководил Отто Ган. Над крышей и взорванной южной стеной монументального здания бушевало море огня — страшное и величественное зрелище! Когда Физический институт имени имп. Вильгельма был эвакуирован из Далема, а мой дом в Целендорфе хотя и не был приведен в окончательную негодность бомбами, но стал очень неудобным, я переселился вместе с институтом в Гехинген. Там, вблизи крепости Гогенцоллернов, я и моя жена провели спокойный год. Над городком часто проносились флотилии самолетов, но почти не трогали его. И поэтому я вспоминаю этот период, как относительно счастливый, хотя мы не были избавлены от лишений военного времени. Кроме того, и в это время мы видели немало ужасов гитлеровского режима; хороший друг вдруг арестовывался на улице, и мы не без основания боялись, что его застрелят. Оборонные мероприятия в Гехингене хотя и носили ребяческий характер, оказались бы опасными, если бы дело действительно дошло до борьбы. К счастью, победили те, кто понимал, как бесплодно подобное сопротивление. С чувством облегчения увидели жители городка 23 апреля 1945 г. французские и испанские республиканские войска, вошедшие без борьбы в город, несмотря на все военные меры, связанные с такого рода «завоеваниями». Все это никого уже не могло удивить.

Но неожиданным оказался приход англо-американских войск, которые на следующий день после своего появления заняли Институт имени имп. Вильгельма и обыскали его. Как выяснилось позднее, это было связано с американским предприятием «Альзос». Это название представляет собой перевод на греческий язык имени главного генерала Грове (Грове=Hain=αλσος). В этом предприятии участвовали люди из научного мира, между прочим, мой почтенный коллега С. Гоудсмит. К моему удивлению и потехе, он внезапно

появился в нашей квартире в стальном шлеме. Несмотря на свою деятельность, он был в глубоком трауре по родителям, которые были изгнаны в Голландию, а оттуда переведены в лагерь уничтожения, где и были умерщвлены (Гейзенберг и я, когда мы узнали об этих намерениях в отношении родителей Гоудсмита, хотели тотчас же вмешаться, но уже было слишком поздно). Эти части, когда они уходили, взяли с собой ряд физиков-ядерщиков, а также меня, оказав мне совершенно незаслуженную честь причислением к этому роду физиков. Благодаря нескольким пополнениям эта группа в конце концов выросла до десяти человек. Нас перевезли сначала в Гейдельберг, оттуда в Реймс, а потом в парижское предместье Везинне; затем нас перевезли в прелестный замок Факевал, южнее Гуи (в Бельгии), и, наконец, в Хантингдон в Англии.

Мы не могли пожаловаться на обхождение. После лишений военного времени военный паек казался нам превосходным. В Хантингдоне мы имели в своем распоряжении, кроме просторного зала замка двухсотпятидесятилетней давности, часть примыкающего сада. Перед нами раскрывался прекрасный вид на старый парк, простирающийся до Аузы; мы имели английские и американские газеты, журналы, некоторые научные сочинения; при помощи прекрасного приемника мы могли слушать выдающиеся музыкальные передачи лондонского радио. Нередко кто-либо из охранявших нас английских офицеров брал нас в автомобильные поездки по прекрасным окрестностям Хантингдона, к знаменитым соборам Петербора или Эли. Нас возили даже в Лондон, где, между прочим, жили единственные допущенные к нам врачи (терапевт и зубной врач). Но мы никогда не смогли побывать в расположенном недалеко от Хантингдона Кэмбридже; нас могли узнать в этом университетском городе, а наше содержание было строго засекречено. Первые четыре месяца мы не имели никакой связи с нашими семьями; позднее мы, правда, смогли им писать, но не должны были упоминать страны, в которой находились. Это свидетельство-

вало об определенной неуверенности победителей относительно того, как они должны подходить к немецким физикам, способности которых они ценили, но в то же время боялись «опасности» с их стороны. Хотя эта ситуация часто приводила к комическим моментам, но все же она нас духовно угнетала. Мне удалось в Хантингдоне написать одну работу о поглощении рентгеновских лучей в случае интерференции, появившуюся позднее в *Acta Crystallografica*. Частые беседы до некоторой степени будили нашу умственную деятельность.

В начале 1946 г. мы были освобождены из Англии, и после временного пребывания в Вестфалии большая часть из нас попала в Геттинген. До апреля 1951 г. я опять работал там в качестве заместителя директора Физического института имени имп. Вильгельма, а вскоре получил также назначение на должность штатного профессора в университете. В это время я написал книгу о теории сверхпроводимости, отчасти заново переработал мою книгу о волнах материи, а также опубликовал несколько статей в журналах. Я смог также почти закончить переработку в рукописи моего первого сочинения — книги по теории относительности, которая уже давно была распродана. В апреле 1951 г. я получил приглашение на место директора Института физической химии и электрохимии при Высшей исследовательской школе. Это был некогда основанный Фрицем Габером Институт имени имп. Вильгельма. Весьма странно, конечно, что подобное место было предложено человеку, которому уже исполнился 71 год, и было принято им. Но не является ли весь современный Берлин странным явлением?

Меня часто спрашивали, почему я не эмигрировал из Германии во времена гитлеровщины. Для этого у меня были веские основания. Одним из них является, например, то, что я не хотел отнимать ни у кого из нуждающихся больше меня коллег должность, получить которую за границей было трудно. Но, главное, я хотел быть на месте, чтобы иметь возможность после

крушения «третьей империи» (которое я предсказывал и на которое надеялся) тотчас же приступить к культурному возрождению на руинах, созданных этим государством. Этому была посвящена бóльшая часть моей деятельности после 1945 г.

В нижеследующих приветственной речи и некрологе, о которых упоминалось выше, освещены некоторые ступени в развитии физической картины мира. Прежде всего займемся речью при открытии конгресса физиков в Вюрцбурге 18 сентября 1933 г.

Если мы завтра соберемся в Физическом институте теперешнего университета, то мы окажемся на историческом месте. В этом доме в конце 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген открыл лучи, названные по его имени. Излишним и даже неуместным было бы говорить об их значении для физики и всех других областей их применения. Но мы хотим все же вспомнить о величии открытия Рентгена, который впервые осознанно осветил то, мимо чего равнодушно проходили другие. Ведь мы знаем из биографии Рентгена, написанной Глассером, что уже в 1890 г. по ту сторону океана было получено правильное фотографическое рентгеновское изображение, которое, однако, было понято лишь после статей Рентгена.

Затем мы вспомним на этом месте последователя Рентгена — Вилли Вина, который 17 лет в этом доме учил и производил исследования. Его классические теоретические работы о световом излучении, которые в форме закона смещения Вина стали неотъемлемой составной частью нашей науки, восходят к ранним годам, когда он, будучи начинающим физиком, работал еще в Физико-техническом государственном институте под руководством Гельмгольца. Только здесь он мог в течение многих лет вместе с многочисленными учениками и друзьями отдаваться спокойному и такому плодотворному экспериментальному исследованию. То,

что было здесь достигнуто в познании природы каналовых лучей, образует немалую часть содержания известных учебников по этому предмету, появившихся в последнее время. Я хочу здесь особенно выделить две основополагающие работы Вина, произведенные в то время: первое квантово-теоретическое определение частоты рентгеновских лучей, которое дало приблизительное, но по существу правильное значение; затем экспериментальное подтверждение относительности электромагнитного поля, как этого требует теория относительности. Спектральное исследование движущихся частичек каналовых лучей обнаруживает в магнитном поле эффект Штарка, который нам был известен в электрическом поле только в случае покоящихся источников света.

Но и совсем иные вещи пережил этот же самый дом. Во время мировой войны Вин превратил свой институт (а при содействии Макса Седдига также и соседний химический институт) в предприятие для исследования аппаратов, необходимых для современной техники связи, прежде всего для устройства усилителей. Войсковые средства связи, которые мы в 1914 г. устанавливали на поле, не были на высоком уровне, и противники нас в этом далеко опередили. То, что в течение четырех лет это положение медленно, но очень существенно выправлялось, является в значительной мере заслугой работавших в этом доме физиков.

22 июня этого года физика может праздновать памятный день особого рода. В этот день исполнится 300 лет с тех пор, как кончился процесс Галилея перед инквизицией. Поводом к этому процессу, как известно, послужило учение Коперника о движении Земли и других планет вокруг Солнца — учение, которое тогда настолько противоречило общепринятым воззрениям, что производило сенсацию и вызывало постоянное возбуждение, подобно тому, как в нашем столетии это имело место в отношении теории относительности. Галилей был не только единственным, но и творческим защитником этой теории, так как он смог укрепить ее

благодаря своим замечательным открытиям спутников Юпитера, фаз Венеры и собственного вращения Солнца. Процесс закончился осуждением. Галилей должен был отречься от учения Коперника и был осужден на пожизненное заключение. Правда, ограничение его свободы постепенно смягчали; ему был указан дом для жилья, который он не имел права оставить и в котором он не имел права никого принимать без разрешения. Фактически его главное сочинение «Рассуждения о двух новых учениях в механике» появилось тогда, когда он был под арестом. До конца своей жизни он оставался заключенным.

Об этом осуждении Галилея сложилась известная легенда. В то время, как Галилей присягал и подписывал опровержение учения о движении, он сказал: «А все-таки она движется!». Эта легенда, исторически недоказуемая и в сущности не имеющая внутренней вероятности, однако, неискоренима в народной молве. На чем покоится ее жизненная сила? На том, что Галилей в течение всего процесса должен был задавать себе вопрос: «Что все это должно означать? Ведь в фактах ничего не изменяется от того, что я или какой-нибудь другой человек что-либо утверждает или опровергает, от того, согласны с этим или против этого политические и церковные силы. Как бы познание этих фактов ни задерживалось какой-либо силой, все равно оно когда-нибудь пробьет себе дорогу». И так действительно произошло. Невозможно было задержать победное шествие учения Коперника. Даже церковь, которая осудила Галилея, должна была в конце концов снять сопротивление в любой форме, хотя это произошло лишь через 200 лет.

В последующем иногда еще были плохие времена для науки, например в Пруссии под владычеством Фридриха Вильгельма первого. Но при всяком гнете защитники науки умели подняться до победоносной уверенности, которая выражается в простом предложении: «А все-таки она движется!».

Некролог в кратких чертах характеризует значение Фрица Габера.

9 декабря 1928 г., в день 60-летия Фрица Габера, перед Институтом физической химии и электрохимии имени имп. Вильгельма в Далеме, его институтом, собралась маленькая группа друзей и сотрудников и посадила липу в честь Габера; сам он в это время жил на юге. Это было своеобразное празднование его дня рождения. Подобно другим научным журналам, *Naturwissenschaften* выпустил юбилейный номер, составленный из материалов, принадлежавших перу наилучших знатоков различных областей деятельности Габера. Эти материалы дают наглядное представление о том, что потеряли в лице Габера химия и физика, хозяйство и техника, военная и мирная. Читатель найдет там указание также на то, что научные труды образуют только одну сторону величия Габера. Может быть, еще более великой была его деятельность в качестве директора института. Он всегда давал полную возможность своим сотрудникам развернуть их способности и в то же время задавал основной тон всей деятельности института. Его деятельность к 60-му году рождения была очень активной. Темы и планы его собственных исследований последних лет были связаны с процессами горения, с явлениями взрыва и влиянием атомов и радикалов на эти явления, с аутоксикацией и редукцией в растворах, особенно при биологических процессах. Из других работ его института мы отметим выделение пара- и ортоводорода, произведенное Понгефером и Гартеком, а также применение их к исследованию сложных химических процессов и магнитных свойств вещества. До тех пор, пока Габер стоял во главе института, этот институт являлся известнейшим местом напряженного исследования природы.

2 мая 1933 г. Габер, прощаясь, последний раз посетил институт.

Фемистокл вошел в историю не как поджигатель дворца персидского царя, а как победитель Саламея. Габер вошел в историю как гениальный изобретатель

способа соединения азота с водородом, который лежит в основе технического получения азота из атмосферы, как человек, который создал «важнейшее средство для поднятия хозяйства и благосостояния человечества», получил «хлеб из воздуха» и тем самым достиг огромного успеха «на службе своей родине и всему человечеству», как было сказано при вручении ему Нобелевской премии.

Что же остается для тех, которые его знали и его оплакивают? Воспоминания... «Его друзья и его сотрудники знают богатство его сердца, его верность, его рыцарство и нежность, его возмущение нечестностью и безнравственностью и веселое спокойствие в отношении мелочей. Он никогда не уставал руководить молодежью и всегда стремился подать надежды и указать новые пути. Он не понимал узости и нетерпимости; он ценил достижения других стран и умов, но любовь его была отдана немецкой стране; как никто другой, он стремился помочь этой стране в тяжелейшее время, защитить и накормить ее детей».

Так писала Маргарита Врангель в 1928 г.; таким Габер остался у нас в памяти. Потому что он был нашим.



И. В. КУЗНЕЦОВ

О КНИГЕ МАКСА ЛАУЭ «ИСТОРИЯ ФИЗИКИ»

Профессор Геттингенского университета Макс Лауэ — один из старейших современных физиков, на глазах и при участии которых в начале XX века совершалась та революция в естествознании вообще и в физической науке в частности, о которой писал В. И. Ленин в своей знаменитой книге «Материализм и эмпириокритицизм». Открытие электрона, радиоактивности, рентгеновских лучей, квантов энергии, распространение законов термодинамики на электромагнитное излучение, создание специальной теории относительности и неизбежная ломка старых понятий науки, а также возникновение новых теоретических представлений — вот что составляло главное в этой революции.

Научное творчество Макса Лауэ связано существенным образом с некоторыми из указанных проблем, решение которых обусловило коренную перестройку науки.

Когда были открыты рентгеновские лучи с их удивительными свойствами, поразившими воображение всех современников этого открытия, встал вопрос о природе нового загадочного излучения. Относятся ли рентгеновские лучи к тому же разряду физических явлений, что и электромагнитное излучение, или нет? Могут ли рентгеновские лучи диффрагировать и интерферировать подобно световым лучам или они совсем не обладают волновыми свойствами? Эти вопросы имели огромное значение.

Макс Лауэ, вопреки мнению ряда выдающихся ученых, высказал предположение о наличии у рентгенов-

ских лучей волновых свойств и выдвинул мысль о возможности их интерференции в пространственной решетке кристаллов. Опыты, осуществленные В. Фридрихом и П. Книппингом в 1912 г., блестяще подтвердили это предсказание. После первых же публикаций о результатах экспериментальных исследований М. Лауэ разработал теорию интерференции рентгеновских лучей в кристаллах, хотя и являющуюся, как мы теперь знаем, приближенной, но тем не менее прекрасно подтверждающуюся опытом. В дальнейшем эта теория была уточнена рядом других ученых. Был, в частности, принят во внимание тот факт, игнорировавшийся в первоначальной теории, что атомы кристалла находятся в беспрестанном тепловом движении. Обобщенная таким образом теория интерференции в кристаллах была названа «динамической теорией». Она оказалась существенной для последующего этапа развития физики, когда были открыты волновые свойства электронов и требовалось понять механизм их интерференции в пространственных решетках кристаллических веществ. Завершенную форму «динамической теории» интерференции дал опять-таки М. Лауэ в 1931 г.

Специфическую интерференционную картину, полученную в результате прохождения рентгеновского излучения со сплошным спектром через монокристалл, именуют в настоящее время «лауэграммой». Она широко и с большим успехом применяется для исследования структуры кристаллов.

Таков один цикл работ М. Лауэ. Другой связан с теорией относительности. Теория относительности возникла в 1905 г. Уже шесть лет спустя, когда было еще очень далеко до ее признания широкими кругами ученых, М. Лауэ дал первое обобщенное изложение этой теории. Превосходно написанная книга Лауэ по теории относительности сыграла важную роль в укреплении новых представлений о пространстве и времени, о законах материального движения, совершающегося со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Она и сейчас воспринимается как живой участник борьбы за

новые физические представления в пору революционных преобразований физической науки в начале XX века. М. Лауэ выполнил также ряд более специальных исследований по вопросам теории относительности.

Как образно выразился Лауэ в своей «Истории физики», к началу XX века термодинамика и оптика стали настолько обширными и значительными ветвями физической науки, «что от их брака могло родиться дитя, предназначенное совершить величайшую революцию в физике». Это дитя — квантовая теория излучения — родилось, и революция действительно совершилась. Макс Лауэ своими работами способствовал объединению термодинамики и оптики, принесшему ценнейшие плоды для познания природы. В 1906 г. он применил законы термодинамики и понятие энтропии к когерентным пучкам света, полученным из одного и того же луча путем его разделения с помощью процессов отражения и преломления. При этом Лауэ доказал обратимый характер такого разделения: полная энтропия когерентных лучей равна энтропии первоначального пучка, из которого они образовались.

Это была сложная и весьма важная проблема. В то время казалось, что здесь физики столкнулись с неустранимым противоречием, из которого можно выйти только ценой какого-то очень далеко идущего пересмотра фундаментальных положений физической науки. С одной стороны, на основании второго начала термодинамики получалось, что разделение пучка света с помощью процессов преломления и отражения на два пучка должно быть связано с увеличением энтропии, т. е. должно являться процессом необратимым. С другой стороны, законы оптики показывали, что путем тех же процессов отражения и преломления разделенные пучки света можно вновь соединить в один пучок, не отличающийся от первоначального, с тем же значением энтропии; следовательно, весь этот процесс можно рассматривать как обратимый. Ввиду наличия такого противоречия возникало даже подозрение насчет того,

можно ли применять второе начало термодинамики к оптическим явлениям. •

Исследования М. Лауэ внесли в этот вопрос полную ясность. Решение было найдено на основе закона Л. Больцмана о связи между энтропией и вероятностью. Как установил Лауэ, к выводу о возрастании энтропии при разделении пучка света пришли потому, что не учитывали того обстоятельства, что пучки света, образовавшиеся в результате деления первоначального пучка, являются в силу их когерентности статистически зависимыми. Внутренняя корреляция, существующая между обоими пучками, приводит к тому, что их общая энтропия остается равной энтропии первоначального пучка.

Таков третий цикл работ М. Лауэ, оставивших след в истории науки. Можно было бы еще указать на его работы, посвященные изучению сверхпроводимости, а также некоторым общим проблемам современной теоретической физики.

В 1947 г. появилась книга М. Лауэ «История физики». В течение трех лет она выдержала три издания на немецком языке, затем была опубликована в Америке и Голландии; в 1953 г. она вышла в Париже с предисловием Мориса де Бройля, брата Луи де Бройля, одного из основоположников квантовой механики.

Вполне понятен интерес читателей к этой книге. Прежде всего привлекает имя самого автора, который, как мы указывали, активно участвовал в развитии физической науки в течение последнего полувека. Подкупают также краткость и вместе с тем обилие фактического материала, ясность и простота изложения, делающие ее доступной широким кругам интересующихся историей науки. Привлекает и то, что книга, в противоположность многим другим сочинениям, посвящена главным образом истории *современной* физики. Хотя в своем изложении Лауэ и обращается к древности, к творчеству Аристотеля, Архимеда и других ученых далекого прошлого, основное внимание он уделяет последнему столетию в развитии физической

науки. Книга, таким образом, подводит непосредственно к тому состоянию физики, в котором мы застаем ее в наши дни.

«История физики» Макса Лауэ обладает и другими достоинствами, которые делают эту книгу незаурядным явлением в зарубежной литературе по истории науки и о которых необходимо сказать более подробно.

Общим фундаментом, на котором Макс Лауэ строит все свое понимание истории физики, является его глубокое убеждение в объективной реальности внешнего мира, всех тел и явлений, которые изучает физическая наука.

Хорошо известно, что среди многих видных зарубежных физиков распространен ложный взгляд, будто атомы и элементарные частицы «не вполне реальны» или даже совсем «не реальны»; будто они представляют собой создания человеческого духа, «условные математические символы», вводимые нами для систематизации данных опыта. В противоположность этому М. Лауэ ясно и определенно признает полную и безусловную реальность и атомов, и элементарных частиц. В смысле реальности он ничем не отличает их от всех других тел материального мира. Он подчеркивает, что «не только атомы, которые являются уже довольно сложными образованиями, но также элементарные частицы имеют полную реальность, как и другие вещи внешнего мира» (стр. 125).

Последовательное признание объективной реальности внешнего мира имеет своим неизбежным следствием признание объективной истины, даваемой наукой. И Макс Лауэ приходит к признанию объективной истины, объективной ценности научного знания. Более того, он не только их признает, не только на всем протяжении своей «Истории физики» часто возвращается к мысли о существовании объективной истины, но и упорно стремится найти доказательства справедливости этого взгляда. По его мнению идеалом для истории физики как раз и должен быть показ объективной истинности научного знания (стр. 13).

М. Лауэ прекрасно видит, что представление об объективной истинности научного знания вызывает возражение со стороны некоторых «теоретико-познавательных течений». Он правильно указывает, на что пытаются опереться эти течения, обосновывая неприемлемую для него точку зрения, согласно которой научное знание целиком и полностью «конвенционально», условно, субъективно. Свои доказательства представители таких течений усматривают в том, что физические теории часто сменяют друг друга. М. Лауэ отвергает эти аргументы как несостоятельные, подчеркивая, что смена физических теорий не исключает того, что в них содержится «значительное ядро объективной, свободной от человеческих прибавлений истины» (стр. 13).

«Теоретико-познавательные течения», отрицающие объективную истину, существовали прежде, существуют они и теперь. Но, указывает Лауэ, в последнее время они получили особенно широкое распространение. Почему же это случилось? Лауэ дает ответ, свидетельствующий о его проницательности, умении рассматривать теоретические вопросы науки в связи с социальными. Причину усиленного распространения идеалистической теории познания он видит в «политической пропаганде».

Идеализм в своей основе противоречит объективному содержанию науки. Наука полностью отвергает идеалистическую точку зрения. Отрыв сознания от материи и превращение сознания в «самостоятельную сущность», характерные для всех идеалистических концепций, происходят под решающим воздействием социальных причин. Такой отрыв неизбежно ведет к отрицанию объективной ценности науки. В противоположность этому материалистическая теория познания полностью согласуется с наукой, подтверждается и укрепляется всеми ее достижениями. Характерное для материализма представление об объективной истинности науки М. Лауэ совершенно правильно выводит из самого существа данных науки, из истории познания объективного внешнего мира. Это представление

не навязывается науке извне, а вытекает из нее самой, отвечает всему ее духу и содержанию.

В истории физической науки, указывает Лауэ, неоднократно повторяется следующее явление: совершенно различные теории, развивавшиеся до того различными школами и относящиеся к разным областям явлений, всеми рассматривавшиеся как ничего общего не имеющие друг с другом, в одно прекрасное время вдруг сближаются и сливаются друг с другом, образуя нечто единое и цельное. Почему это происходит? Потому, отвечает Лауэ, что в этих теориях, несмотря на различные субъективные мнения людей, есть нечто общее им — ядро объективной истины, которое не зависит от людей, их воли, желаний и устремлений. Если бы в них не было этого ядра объективной истины, то, подчеркивает Лауэ, «надо было бы рассматривать соединение этих теорий, как чудо» (стр. 13).

Анализируя развитие важнейших отраслей физики, М. Лауэ всюду находит факты подобного слияния теорий, настойчиво указывает на них читателю и подчеркивает их теоретико-познавательное значение как доказательство «объективной истинности», «убедительной силы» науки. Как об одном из крупнейших событий такого рода он говорит о слиянии теорий электричества и света, совершившемся в результате развития идей Фарадея и Максвелла. «Это вполне естественное соединение до этого совершенно независимых теорий света и электродинамики, — пишет М. Лауэ, — является, может быть, крупнейшим из тех событий, на которые указывалось во введении, как на доказательство истинности физического знания» (стр. 49).

Пришло время, когда вступили в тесную связь также и атомистическая теория кристаллов, и волновая теория рентгеновских лучей. Причины этого — те же самые. Это, говорит Лауэ, «одно из тех поразительных событий, которые сообщают физике ее убедительную силу» (стр. 141). Проследивая историю термодинамики и оптики, Лауэ подводит читателя к тому моменту, когда они объединились друг с другом, и снова он

здесь резюмирует: «Это еще одно из тех событий, которые доказывают истинность физики» (стр. 145). Подобно этому Лауэ обращает внимание читателя на важность с теоретико-познавательной точки зрения установления тесной связи между химией и квантовой теорией, совершившегося в последние десятилетия (стр. 159).

Аргументы в пользу признания объективной истины в физике М. Лауэ находит и в фактах другого рода — в подтверждении на опыте предсказаний науки. В качестве примера, свидетельствующего о блестящем подтверждении смелого научного предвидения, он называет результаты по получению атомной энергии. При этом он подчеркивает, что само это предвидение возможности атомной цепной реакции и взрывных выделений энергии в атомной бомбе опиралось на признание объективной истины. «С точки зрения физики, — пишет Лауэ, — здесь занимают величайшим экспериментом, который когда-либо ставили люди. Это — блестящее подтверждение смелого научного предвидения, основанного на убеждении в объективной истинности физики» (стр. 134).

Конечно, к этим соображениям, развиваемым М. Лауэ в пользу признания объективной истины и против «конвенционалистического» (субъективистского) понимания физических теорий, можно было бы добавить многое. Но для нас здесь существенен сам факт борьбы Лауэ против субъективизма.

Как указывал В. И. Ленин, признавать объективную истину — значит стоять на точке зрения материалистической теории познания. Защищая объективную истину в физической науке, М. Лауэ защищает материалистическую теорию познания.

Такая позиция М. Лауэ в общетеоретических вопросах физики не случайна. Он ее придерживается многие годы. Наряду с некоторыми другими крупными физиками и, в частности, со своим учителем М. Планком он принадлежит к той группе ученых, которых М. Борн назвал «ворчунами». Эти «ворчуны» не раз подымали

свой голос в защиту принципа причинности, против попыток насадить в современной физике индетерминистические воззрения на основе искаженного понимания статистического характера квантовой механики. А как известно, вопрос о причинности — один из важнейших вопросов, по которым можно судить о сущности философских воззрений того или иного ученого. Субъективистская линия в трактовке причинности — философский идеализм. Признание объективности причинности, признание ее познаваемости есть материализм.

В своих статьях, посвященных анализу соотношения неопределенностей Гейзенберга и характеристике их теоретико-познавательного значения*), М. Лауэ возражает против попыток отказаться от принципа причинности. Аргументом в пользу такого отказа некоторые физики объявили то обстоятельство, что средства наблюдения оказывают определенное воздействие на исследуемый объект. Лауэ показывает, что на самом деле из факта взаимодействия прибора и объекта вовсе не вытекает необходимость отказа от принципа причинности. Он высказывает свое несогласие с представлением, будто соотношение неопределенностей устанавливает некую границу познания, ликвидирующую возможность дальнейшего проникновения в глубины микропроцессов. Опираясь на факты из истории физики, Лауэ опровергает мнение, будто измерительные возможности науки не могут дальше развиваться, когда мы дошли до таких частиц материи, как атомы. По мнению Лауэ, никаких принципиальных границ для познания не существует, и соотношение неопределенностей указывает всего лишь пределы корпускулярной механики, но не физического познания вообще.

Ряд верных и глубоких соображений Лауэ высказывает и по вопросу о связи науки с практикой. Обычно

*) Русский перевод одной из этих статей — «О соотношениях неточностей Гейзенберга и их теоретико-познавательном значении» — опубликован в журнале «Успехи физических наук», т. XV, вып. 3, 1935, стр. 343.

идеалисты представляют возникновение и развитие науки как результат «самодвижения духа», как продукт «творческой активности» духа, рождающего науку из самого себя, вне всякой связи с материальной действительностью, с практическими задачами общественной жизни. М. Лауэ такой точки зрения не придерживается. Она ему чужда. Это вполне понятно: признание объективной реальности внешнего мира и объективной истинности научного знания не совместимо с идеалистической точкой зрения на возникновение и развитие науки.

Из всех отраслей физики раньше всего сложилась механика, а в механике первой родилась статика. Почему она возникла? «Как уже было упомянуто, — пишет М. Лауэ, — учение о равновесии, статика, уходит далеко в древность. Ее возникновение обусловлено практическим значением, которое имеют для преодоления тяжелой физической работы рычаг, винт, наклонная плоскость и полиспаг» (стр. 19).

М. Лауэ указывает, что выдвинутая практикой задача создания водного и воздушного транспорта дала толчок исследованиям в области динамики жидкостей и газов. Ее решение явилось целью обширных исследований Рэлея, Рейнольдса и Прандтля (стр. 25). Практические потребности двигали вперед и акустику. Изобретение телефона, нашедшего многочисленные применения на практике, выдвинуло перед акустикой новые большие задачи. Нужды военной техники в период первой мировой войны, указывает Лауэ, стимулировали разработку передачи звука с помощью электрических волн, т. е. радио; необходимость защиты от подводных лодок двинула вперед исследование и использование ультразвука (стр. 32—33).

Жаль, что М. Лауэ не во всех важнейших случаях прослеживает воздействие практических потребностей техники, производства на развитие науки. Но в целом его точка зрения в этом вопросе совершенно ясна: практика служит источником возникновения наук; она движет вперед научную мысль, выдвигая новые за-

дачи; вместе с тем техника вооружает науку новыми орудиями исследования. Лауэ подчеркивает и другую сторону взаимоотношения между наукой и техникой, между наукой и жизнью общества: путем своих технических применений, а также своими общими идеями наука оказывает могущественное влияние на общий круг жизни как отдельных людей, так и народов, «в силу чего политическая история также не может быть понята без этих влияний» (стр. 7).

Для истории познания природы важен не только вопрос о взаимоотношении науки и техники, но и вопрос об отношении различных наук друг к другу. М. Лауэ останавливается и на нем, высказывая ряд совершенно справедливых положений. В общей форме он говорит о связи физики с астрономией, химией, минералогией. Более подробно он подчеркивает особенно тесную связь между физикой и математикой: «Математика, — указывает Лауэ, — стала интеллектуальным орудием физика; только она дает возможность точного научного выражения познанных законов природы...». Успехи физики теснейшим образом связаны с успехами математики; «и наоборот, часто постановка физических вопросов обуславливала прогресс математики» (стр. 9). Эти соображения Лауэ фактически направлены против тех, кто отрывает математику от естествознания, от опыта, эксперимента, практики; кто видит в математике некую априорную схему понятий с присущей ей таинственной «логикой самодвижения».

Особенно интересны взгляды М. Лауэ на соотношение между физикой и философией и его оценка философских выступлений некоторых естествоиспытателей. Прежде всего Лауэ отмечает ту особенность в развитии физики, что в первые периоды в ней «трудились люди, которые нам известны прежде всего как философы» (стр. 9). В связи с этим он называет имена Декарта, Лейбница, Канта (имеются в виду работы Канта по космогонии). «Позднее происходило скорее наоборот: физики и химики выступали с философскими сочинениями, большей частью по вопросам

теории познания». Лауэ указывает: «Вне всякого сомнения, успехи естествознания оказывали сильное воздействие на всех выдающихся философов» (стр. 9). И это совершенно верно. Действительно, ошибочен взгляд, будто философия — некая «наука наук», парящая где-то над всеми другими науками, абсолютно независимая от них и диктующая свои «внеопытные законы» всем другим наукам. Подлинно научная философия находится в неразрывной связи с естествознанием, опирается на него, обогащается и развивается вместе с его успехами.

М. Лауэ отмечает, что в XIX веке среди естествоиспытателей возникла решительная оппозиция против идеалистической философии Гегеля. Он подчеркивает, что оппозиция была вполне обоснованной, ибо гегелевская философия отказывала опытной науке в праве на существование. Однако, с сожалением констатирует Лауэ, эта оппозиция несправедливо распространилась на всю философию вообще и даже дошла до отрицания любой теории в естествознании. М. Лауэ это считает ошибочным. И действительно, без тесной взаимосвязи естествознания с подлинно научной философией, без их союза невозможно успешное развитие науки. Эмпиризм, отрицающий теоретическое мышление, позитивизм, пытающийся оторвать естествознание от философии, стремящийся противопоставить их друг другу и ликвидировать философию, наносят тяжелый ущерб научному познанию.

В своей автобиографии Лауэ говорит о том, что еще будучи гимназистом, он увлекался философией, читал книги по истории философии, изучал произведения Канта. В студенческие годы он продолжал занятия по философии и она, по его собственным словам, преобразила его бытие. Лауэ подчеркивает большое значение философии, как центра, вокруг которого группируются все другие науки, благодаря чему сохраняется единство научного знания в условиях далеко идущей специализации отдельных наук.

Конечно, с нашей точки зрения не всякая философия способна играть такую роль в развитии науки. Единственно верной философией естествознания является диалектический материализм.

Говоря о физиках, выступавших с философскими сочинениями, М. Лауэ называет Гельмгольца, Маха и Пуанкаре. Известно, как широко распространены в современной зарубежной философской и естественно-научной литературе утверждения о якобы выдающемся значении философских работ Маха и Пуанкаре. Они нередко превозносятся как создатели новых философских систем, будто бы открывших новую эру в развитии философской мысли, в разработке теоретических основ естествознания. Ряд ученых объявляет себя их философскими учениками. Вопреки этому Макс Лауэ трезво и весьма скептически оценивает философские работы указанных физиков. «Да простится мне, — пишет Лауэ, — если я сомневаюсь в том, что все они имели необходимую философскую подготовку для успешной работы» (стр. 9). Сомнения М. Лауэ совершенно законны и справедливы. Как блестяще показал В. И. Ленин еще в 1909 г., философские воззрения Э. Маха и А. Пуанкаре не выдерживают научной критики. Они путаны, непоследовательны и представляют собой эпигонскую смесь обрывков отвергнутых наукой идеалистических систем, в особенности системы епископа Беркли, только облеченных в новую, квазинаучную терминологию.

Хотя М. Лауэ посвящает философским сочинениям Маха и Пуанкаре всего лишь несколько строк, его приговор совершенно ясен: учиться по части философии у этих авторов нечему.

Резко отрицательно М. Лауэ оценивает и «энергетику» Оствальда. Он прямо относит ее к числу тех заблуждений в науке, которые неизбежно должны исчезнуть, и считает ее исчезнувшей (стр. 104). К сожалению, Лауэ не видит, что «энергетику» ныне пытаются возродить в новой форме, искажая закон взаимосвязи массы и энергии: $E = mc^2$.

Одним из важнейших выводов, к которым приходит Лауэ, проследившая развитие физики вплоть до наших дней, является вывод о фундаментальном значении закона сохранения и превращения энергии для познания природы. Этот закон М. Лауэ считает универсальным, не знающим нигде и никаких исключений. Он справедливо называет его «краеугольным камнем всего естествознания» (стр. 103). Эта твердая, ясная, научно обоснованная позиция Лауэ прямо противоположна взглядам некоторых известных зарубежных физиков, не раз в последние десятилетия пытавшихся — и, конечно, безуспешно! — опровергнуть указанный закон, не замечая, что они пытаются разрушить фундамент всей науки о природе. Лауэ же, напротив, прекрасно видит тесную связь основ естествознания с законом сохранения и превращения энергии.

Известно, что сохраняющейся является не только энергия, но и ряд других физических величин, в частности электрический заряд. Основываясь на опыте истории физики, Лауэ подчеркивает важность отыскания величин, подчиняющихся тем или иным законам сохранения: «Поиски постоянных количеств являются не только правомерным, но в высшей степени важным направлением исследования. Это направление постоянно защищалось в физике» (стр. 101). Существование в науке таких законов сохранения и сохраняющихся величин не случайно. Они не являются произвольной конструкцией ума. В них отражаются законы сохранения материи и движения. Именно потому на основании их становится возможным делать определенные, подтверждаемые опытом заключения о закономерностях отдельных явлений.

На примере развития физики М. Лауэ стремится показать необходимость соблюдения правильных соотношений между опытом и теорией, необходимость глубокого уяснения роли каждого из них в прогрессе научного знания. Его книга обильно оснащена экспериментальными фактами, показывает решающую роль эксперимента для создания теорий. Но вместе с тем

М. Лауэ стремится показать, что к опыту, эксперименту нельзя подходить односторонне; что в науке эксперимент и теория органически взаимосвязаны, и в отрыве от правильной теории исследователь может даже оказаться лишенным возможности собрать нужный экспериментальный материал. При различных теориях один и тот же экспериментальный материал приобретает различное значение и смысл.

Так, указывает Лауэ, без системы Коперника «не были бы установлены законы Кеплера» (стр. 77), т. е. не были бы собраны исходные эмпирические материалы, послужившие в дальнейшем опорой для теории тяготения. Более подробно Лауэ останавливается на истории опыта Физо, в котором исследовалось распространение света в движущейся среде. Долгое время этот опыт рассматривался с точки зрения волновой теории света как доказательство существования эфира, проникающего во все тела, но не участвующего в их движении. С созданием теории относительности дело изменилось самым решительным образом: он стал рассматриваться как свидетельство существования нового закона сложения скоростей и отсутствия неподвижного эфира. Кстати говоря, именно Лауэ своими работами способствовал уяснению этого обстоятельства и включению опыта Физо в круг фактов, обосновывающих не старые, а новые представления о пространстве и времени. «Таким образом, — резюмирует М. Лауэ, — история опыта Физо является поучительным примером того, какую большую роль в объяснении каждого опыта играют элементы теории; их нельзя даже отделить от него. И если потом теории меняются, то опыт превращается из поразительного доказательства для одной теории в такой же сильный аргумент для противоположной теории» (стр. 83).

Невольно здесь вспоминаются указания В. И. Ленина на необходимость подходить к критерию практики диалектически. Ленин подчеркивал, что критерий практики совершенно определен для того, чтобы в каждый данный момент отличить химеру от подлинной реальности,

вымысел — от научного положения. Но он не настолько определен, чтобы раз навсегда, окончательно, полностью подтвердить или опровергнуть то или иное положение науки. Лауэ здесь подходит к этой глубокой мысли Ленина, высказанной в «Материализме и эмпириокритицизме».

В других работах М. Лауэ снова так или иначе возвращается к вопросу о связи между экспериментом и теорией. В своей автобиографии он специально подчеркивает ценность научной гипотезы для познания природы на примере обнаружения интерференции рентгеновских лучей. Это — очень хороший и наглядный пример! Опыты Фридриха и Книппинга были решающими для доказательства способности рентгеновских лучей к интерференции, т. е. для доказательства наличия у них волновых свойств. Но по сути дела подобные опыты проделывали многие физики уже задолго до этих ученых. Однако, не руководствуясь гипотезой о возможности интерференции рентгеновских лучей, не используя гипотезу пространственной решетки кристалла, физики сосредоточивали свое внимание только на центральном пучке лучей, прямо проходившем через кристалл. Никто не замечал во много раз менее интенсивных отклоненных лучей или не придавал им значения. Только гипотеза о пространственной решетке кристалла и гипотеза о наличии у рентгеновских лучей волновых свойств позволили сконцентрировать внимание исследователей на таком, казалось бы второстепенном, эффекте. Именно благодаря этому и совершилось открытие весьма существенного, принципиального значения.

Хочется отметить еще одно положение, содержащееся в книге Лауэ. Оно касается роли рядовых ученых в развитии физической науки. Рисуя картину развития физики, историк неизбежно вынужден говорить только о наиболее выдающихся открытиях, о наиболее важных теориях и идеях, сыгравших самую существенную роль в продвижении физической науки от одного этапа к другому. Он вспоминает только о вершинах

научного исследования и только о тех, кто их достиг. В тени остаются тысячи скромных исследователей, самоотверженно служивших науке. Была ли их работа лишней, напрасной? Никоем образом! Лауэ отмечает, что их труд был необходимым условием успешного развития физики, без которого она не смогла бы достигнуть нынешнего высокого уровня. Он правильно заявляет, что физику нельзя считать результатом деятельности только отдельных выдающихся ученых, она есть плод коллективной работы всех ученых, посвятивших физике свои силы. «Только совместная работа многих ученых, — пишет Лауэ, — обеспечила необходимую полноту наблюдений и вычислений и непрерывность прогресса; только разнообразие интересов и дарований помешало тому, чтобы исследование протекало в немногих определенных направлениях; их деятельность была и остается необходимой предпосылкой для появления выдающихся или даже гениальных открытий. Физика, по крайней мере с конца XVII столетия, является плодом коллективной работы. Это также исторический факт» (стр. 12).

Мы говорили о достоинствах книги М. Лауэ. К сказанному можно было бы добавить меткую оценку им роли некоторых физических идей, завоевавших в конце концов всеобщее признание; такова, например, идея интерференции, принадлежащая, по словам Лауэ, «к числу ценнейших вкладов в физику» (стр. 46); идея Л. Больцмана о связи между энтропией и вероятностью — «одна из глубочайших мыслей всей физики» (стр. 117). В книге правильно показывается неизбежность крушения механистического воззрения на природу и т. д.

Но необходимо сказать и о некоторых недостатках «Истории физики» М. Лауэ. Автор построил свою книгу как совокупность отдельных очерков по истории различных разделов современной физики — механики, теории тяготения, оптики, электродинамики, термодинамики, атомистики, кристаллофизики и т. п. Фактически он отказался от попытки показать историю

физики как единый процесс, в котором физика движется от одного этапа к другому как нечто цельное, с присущими ей характерными особенностями, свойственными каждой ее исторической эпохе и накладывающими резкий отпечаток на все ее разделы, как бы отличны друг от друга они ни были.

Когда Ньютон разработал основы классической механики, это было событием не только для одной механики, но и для всех других отраслей физики. Учение об электричестве, а также оптика долгое время развивались под определяющим воздействием идей механики. Когда возникла электродинамика Фарадея — Максвелла, ее идеи сказались решительным образом и в других областях физической науки, и вся физика в целом в эту эпоху приобрела иной характер, чем физика предыдущего периода. Точно так же открытие квантов энергии открыло новую эпоху в физике, и рано или поздно, так или иначе оно затронуло все ее разделы. К сожалению, М. Лауэ не выделяет таких переломных периодов в развитии физической науки в целом, не показывает существенных отличий физики как единой науки на разных ее ступенях. Это — первое.

Второе, что необходимо отметить, — некоторые неточности в освещении вклада отдельных ученых в развитие физической науки. Так, говоря об открытии закона сохранения массы, автор называет имя А. Лавуазье. Мы несколько не хотим умалить великую роль Лавуазье в познании природы, но справедливость требует сказать, что задолго до Лавуазье М. В. Ломоносов дал точное экспериментальное доказательство сохранения массы при химических реакциях и результаты его исследований были опубликованы в изданиях, хорошо известных в Европе. М. Лауэ указывает, что Дэви в 1811 г. при помощи 2000 элементов открыл электрическую дугу. Однако в действительности первым получил электрическую дугу русский ученый академик В. В. Петров еще в 1802 г., с помощью самой большой для того времени гальванической батареи, состоящей из 2100 элементов. Эти работы

Петрова были опубликованы в научной печати в 1803 г. М. Лауэ справедливо подчеркивает важность идеи о движении энергии, но он называет только имя Пойнтинга, хотя весьма важный вклад в разработку этой идеи еще до Пойнтинга сделал Н. А. Умов. К сожалению, среди предшественников Р. Майера, открывшего закон сохранения и превращения энергии, автор не называет Г. И. Гесса, установившего закон постоянства сумм тепла, выделяемого при химических реакциях, переводящих вещество из одного определенного химического состояния в другое. Неточно указывается дата осуществления опыта П. Н. Лебедева по измерению давления света: на самом деле опыт проделан не в 1901 г., как сообщает М. Лауэ, а в 1899 г., и о его результатах делалась публикация в научной печати. Нельзя согласиться с мнением автора, будто Л. Мейер полностью разделяет с Д. И. Менделеевым честь открытия периодической системы химических элементов.

Говоря об эффекте Допплера, автор не указывает на весьма важные работы А. А. Белопольского, давшего в 1900 г. экспериментальное доказательство этого эффекта для световых лучей; не указывает на исследования Б. Б. Голицына, сыгравшие в этом вопросе значительную роль.

М. Лауэ отказывается в положительной оценке всей вообще физической литературе по атомистике, появившейся до 1800 г., делая исключение только для одной забытой статьи Даниила Бернулли. Это несправедливо. Если бы автор был знаком с работами М. В. Ломоносова по атомистике, он бы, конечно, подробно сказал о них. В них с большой глубиной разрабатывается теория теплоты на основе представления о движении микроскопических частиц материи. Вводится представление о наинизшей возможной температуре (т. е. фактически об абсолютном нуле). Ясно и отчетливо впервые в науке различаются атомы и молекулы (по терминологии Ломоносова — «элементы» и «корпускулы»). Эти работы М. В. Ломоносова публиковались в научных изданиях, обсуждались в Петербург-

ской Академии наук, дискутировались в зарубежной печати.

Можно было бы указать и на другие неточности подобного рода, вкравшиеся в книгу М. Лауэ.

Некоторые недостатки связаны с неправильным и непоследовательным толкованием закона взаимосвязи массы и энергии: $E = mc^2$. М. Лауэ именует его «законом инертности энергии», как будто сама по себе энергия обладает инерцией. В действительности инерцию имеет тот материальный объект, который обладает и массой и энергией. Недостаток этой терминологии автор отчасти исправляет указанием на то, что данный закон чаще всего применяют в следующей форме: масса тела равна его энергии, разделенной на квадрат скорости света. В этой формулировке яснее видно, что масса и энергия — различные вещи, однако не оторванные друг от друга, а неразрывно связанные друг с другом. Она показывает также, что инерция есть свойство материального объекта, а не принадлежащей ему энергии. Однако М. Лауэ допускает не только эту, но даже более существенную ошибку, заявляя, будто при превращении электрона и позитрона в гамма-кванты их масса превращается в энергию (стр. 126). В другом месте он даже утверждает, якобы электрон и позитрон могут целиком превращаться в энергию излучения (стр. 106). Прежде всего бросается в глаза то, что оба эти утверждения противоречат друг другу. Если в первом из них провозглашается, что масса (одно из свойств материальных объектов) превращается в энергию, то во втором — что электроны и позитроны (т. е. сами материальные объекты) превращаются в энергию. Нет никаких оснований отождествлять массу с материальными объектами. Да и М. Лауэ, повидимому, не стоит на такой точке зрения; во всяком случае он нигде не делает попытки доказать их тождественность. Могут ли электроны и позитроны превращаться в энергию? Нет никаких данных, подтверждающих это мнение. Электроны и позитроны превращаются в гамма-кванты, но последние не являются

энергией, а представляют собой материальные частицы, обладающие энергией. Сам же М. Лауэ в другом месте своей книги говорит о материальном характере электромагнитного поля, именуя его «самостоятельной физической реальностью», а не простым изменением (движением) эфира, как это было в прежней теории.

Как мы говорили, М. Лауэ считает «энергетику» Оствальда заблуждением. Современные «физические» идеалисты пытаются возродить это заблуждение, используя всякую неясность и непоследовательность в истолковании закона взаимосвязи массы и энергии. Лауэ не видит этой опасности. Повидимому, поэтому он некритически использовал взятую из чужих рук и широко распространенную в зарубежной литературе путаную терминологию и даже неправильные представления.

Остановимся в заключение еще на двух утверждениях М. Лауэ. Одно из них касается понятия времени, а другое — сущности научных определений.

Приступая к изложению вопроса об измерении времени, автор заявляет: «Кант во всяком случае был прав, когда он представлял время как запечатленную человеческим разумом форму созерцания» (стр. 14). Если бы это было так, то время лишилось бы всякого объективного содержания. Но это не так, ибо время существует не в нашем сознании, а вне его и представляет собой объективно реальную форму бытия материи, которая отражается в нашем сознании в виде более или менее верных понятий времени. Фактически в дальнейшем изложении Лауэ так или иначе отступает от взгляда Канта и говорит о времени, как о чем-то объективном, лежащем вне сферы нашего сознания и восприятий. Именно так, например, он трактует лорентцовы преобразования времени и пространства. Позже, касаясь измерений пространства, М. Лауэ подчеркивает, что оно лежит «перед нашим созерцанием» (стр. 89), т. е. внешне по отношению к созерцанию сознанию.

Следует, однако, подчеркнуть, что одобрительная оценка взглядов Канта на пространство и время не является у Лауэ случайной. В своей совсем недавней статье «Эйнштейн и теория относительности»*) Лауэ утверждает, будто Кант доказал, что пространство и время являются запечатленными формами человеческого созерцания. Влияние Канта в этом вопросе, таким образом, осталось непреодоленным.

Не разбирая сколько-нибудь обстоятельно вопроса по существу, М. Лауэ мимоходом останавливается на том, что такое научные определения. Он заявляет, что «определения являются человеческими соглашениями» (стр. 80). Нельзя не возразить против толкования научных определений как «человеческих соглашений». Определения не являются результатом произвола, субъективного и условного соглашения. Правильное научное определение выражает сущность того или иного явления и обусловлено его объективной природой.

Когда мы говорим: электрон — одна из «элементарных» частиц материи, не состоящая ни из каких других ныне известных частиц, обладающая таким-то электрическим зарядом, такой-то массой и таким-то спином, то мы даем определение электрона. О каком же «соглашении» здесь может идти речь? О чем мы здесь «соглашаемся»? Что здесь произвольно или субъективно? Ничего, кроме самого названия «электрон». Конечно, эту частицу можно было бы назвать как-нибудь по-иному, но это не имеет отношения к существу определения. Например, 20 лет назад электрон был определен несколько иначе, чем сейчас. Но и это определение не было бы «человеческим соглашением», а навязывалось бы человеку объективными данными и содержало бы то «зерно объективной истины», успешной защите представления о котором сам М. Лауэ уделил такое большое внимание в своей «Истории физики».

*) Naturwissenschaften, 1956, тетрадь 1.

Книга М. Лауэ сильна своей ясной и определенной защитой объективной истинности физики, основанной на убеждении в объективности внешнего мира, исследуемого физической наукой. Там, где автор так или иначе отступал от этой своей основной позиции, там возникали и недостатки его работы.

Вместе с русским переводом книги М. Лауэ «История физики» публикуется и его очерк «Мой творческий путь в физике» (автобиография). Этот небольшой очерк живо рисует основные вехи в жизни и деятельности Лауэ, показывает его особенности как ученого, его научные интересы. С еще большей силой, чем в «Истории физики», в нем выражены антинацистские, антигитлеровские устремления Лауэ, его ненависть к отвратительной расовой дискриминации.

В этом очерке читатель также найдет ряд очень интересных деталей, характеризующих личность и творчество таких выдающихся деятелей физики, как М. Планк, В. К. Рентген и др. «Автобиография» Лауэ воспринимается поэтому как своеобразное продолжение и дополнение его «Истории физики».



ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аббе Эрнст (1840—1905) 42
Абрагам Макс (1875—1922) 70, 179
Авогадро Амедео (1776—1856) 114
Адельсбергер У. 16
Айвс Г. 88
Ампер Андре Марн (1775—1836) 59, 62, 159
Андерсон Карл Давид 123
Аполлоний 169
Араго Доминик Франсуа (1786—1853) 46, 59
Аристарх 75
Аристотель (384—322 до н. э.) 5, 20, 36, 73, 74, 204
Армати Сальвино 41
Аррениус Сванте (1859—1927) 8, 58, 118
Архимед 6, 19, 204
Астон Ф. Р. В. 124
Аюи Рене Жюст (1743—1822) 138
- Бабинэ Жак (1794—1872) 85
Бальмер Иоганн Якоб (1825—1898) 157, 158, 160
Баркла Ч. Г. 47, 141, 183
Барлоу Вильям (1845—1934) 141
Безольд Фридрих Вильгельм (1837—1907) 66
Беккер Г. 131, 132
Беккерель Анри (1852—1908) 127
Белл Александр Грехем (1847—1922) 32
Белопольский А. А. 219
Берг Отто (1874—1939) 142
Бергманн Торберн (1735—1784) 138
Беркли 213
Верлиннер Арнольд 3
Бернулли Даниил (1700—1782) 24, 113, 219
Бернулли Иоганн (1667—1748) 98
Бертельсен Эразм (Бартолиниус, 1625—1698) 136
Бете Г. А. 106, 144
Био Жан Батист (1774—1862) 39, 45, 59, 96, 137
Бисмарк 190
- Блэк Джозеф (1728—1799) 93, 95
Блэккет П. С. М. 126, 131
Бойль Роберт (1627—1691) 8, 11, 24, 44, 114
Больцман Людвиг Эдуард (1844—1906) 29, 65, 104, 115, 116, 117, 121, 125, 147, 149, 150, 151, 155, 168, 176, 183, 204, 217
Бор Нильс 43, 122, 157, 158, 159, 160, 162
Борн М. 160, 208
Боте В. 131, 132
Бравэ Огюст (1811—1863) 139
Браге Тихо (1546—1601) 35
Браун Фердинанд 173, 174
Брингс Генри (1556—1630) 9
де Бройль Луи 142, 160, 161, 204
де Бройль Морис 204
Броун Роберт (1773—1858) 118
Бругманс Антон (1732—1789) 53
ван-ден-Брук А. 122
Бруно Джордано (ум. в 1600) 7, 36, 74
Брэг Вильям Генри (1862—1942) 141, 142, 183, 187
Брэг Вильям Лоуренс 141, 144, 187
Брэдли Джеймс (1693—1762) 44, 82
Брюкстер Давид (1781—1868) 137
Бунзен Роберт Вильгельм (1811—1899) 146, 171
Бухерер Альфред Генрих (1863—1927) 28
Бэкон Роджер (1214—1294) 41
Бюрнги Иобст (1552—1632) 9
- Вагнер Рихард 167
Вайль Вольфганг 168
Вальдман Л. 116
Вальтер 183
Вант-Гофф Якоб Гендрик (1852—1911) 8, 110, 143
Варбург Эмиль (1846—1931) 57, 71, 154
Варли Кромвель (1828—1883) 119
Вебер Вильгельм (1804—1891) 60, 61, 62

- Вебер Генрих Фридрих (1842—1913) 155
 Вейс Пьер Эрнст (1865—1940) 71
 Вейс Христиан Самуэль (1780—1856) 136
 Вейдзекер К. Ф. 106
 Верн Жюль 133
 Виллард Пауль 129
 Вильке Иоганн Карл (1732—1796) 52, 93
 Вильсон Ч. Т. Р. 120, 123, 125, 131, 132, 184
 Вин Вильгельм (1864—1928) 47, 113, 124, 146, 148, 149, 150, 176, 177, 179, 196, 197
 Виндельбанд Вольфганг 168
 Винер Отто Генрих (1862—1927) 49
 Вирл Р. (1904—1932) 143
 Вихер Эмиль (1861—1928) 47, 66, 119, 120
 Волластон Вильям Гайд (1766—1828) 43
 Вольта Александр (1745—1827) 52, 56, 57, 58
 Вольтер 24
 Врангель Маргарита 202
 Вроблевский Зигмунд Флорентий (1845—1888) 96
 Вюльнер 172
- Гааз В. 67, 68, 191
 Габер Фриц 194, 197, 200, 201
 Гадolini Аксель (1828—1892) 137
 Галилей Галилео (1564—1642) 6, 7, 15, 20, 23, 30, 34, 43, 75, 78, 79, 81, 91, 98, 197, 198
 Галле Иоганн Готфрид (1812—1910) 37
 Гальвакс Вильгельм (1859—1922) 153
 Гальвани Лунджи (1737—1798) 56
 Гамильтон Вильям Роуэн (1805—1865) 25, 26, 27, 41
 Гамов Г. 130, 161
 Ган Отто 128, 133, 134, 193
 Гартек П. 132, 199
 Гартманн Гаус 165
 Гаусс Карл Фридрих (1777—1855) 41, 54, 55, 60, 89, 139
 Гегель 10, 212
 Гейгер Гаус (1881—1945) 122, 130, 161
 Гейзенберг Вернер 71, 123, 160, 161, 194, 209
 Гей-Люссак Жозеф Луи (1778—1850) 59, 92, 100, 114
 Гейтель Гаус Фридрих (1855—1923) 130
 Гейтлер В. 161
 Гельмгольц Герман (1821—1894) 9, 10, 25, 26, 32, 42, 65, 69, 102, 103, 104, 106, 110, 113, 169, 196, 213
 Гельмонт 24
 Герике Отто (1602—1686) 23, 24, 31, 48, 51, 91
 Геринг, проф. 169, 170
- Герке 177
 Герлах В. 159
 Герц Генрих (1857—1894) 39, 49, 64, 65, 66, 119, 120, 153, 156
 Гершель Джон Фредерик Вильям (1792—1871) 137
 Гершель Фридрих Вильгельм (1738—1822) 42
 Гесс В. Ф. 123
 Гесс Г. И. 219
 Гессель Иоганн Фридрих Христиан (1796—1872) 137
 Гете 42
 Ги Георг (1854—1926) 47
 Гиббс Джозайя Уиллард (1839—1903) 29, 110, 117
 Гие Шарль Эжен (1866—1942) 28
 Гильберт Вильям (1540—1603) 51, 55
 Гильберт Давид 175
 Гитторф Иоганн Вильгельм (1824—1914) 57, 119
 Глассер 196
 Голицын Б. Б. 219
 Гольдштейн Евгений (1850—1931) 119, 166
 Гольцманн Роберт Фридрих 168
 Гудсмит С. 159, 193, 194
 Грей Стефан (1670—1736) 52
 Гримальди Франческо (1618—1663) 44, 45
 Грин Джордж (1793—1841) 54, 55
 Грот Пауль (1843—1927) 140, 185
 Гук Роберт (1635—1703) 24, 25, 35, 45, 138
 Гульельмини Доменико (1655—1710) 136
 Гумбольдт Александр (1769—1859) 57
 Гунт Ф. Л. 154
 Гюйгенс Христиан (1629—1695) 15, 16, 20, 41, 45, 46, 98, 136, 138
- Даламбер Жан (1717—1783) 23, 24
 Дальтон Джон (1766—1844) 92, 113
 Дарвин Ч. Г. 144
 Дебай П. 72, 143, 144, 150, 155, 156, 158
 Декарт Рене (1596—1650) 8, 9, 35, 41, 43, 77, 211
 Демокрит (460—371 до н. э.) 113
 Демпстер А. Дж. 125
 Джермер Л. Г. 143, 161, 187
 Джинс Джемс Хопвуд (1877—1946) 148, 149
 Джонсон Т. Г. 143, 161
 Джоуль Джемс Прескотт (1818—1889) 96, 101, 114
 Доллонд Джон (1706—1761) 42
 Допплер Христиан (1803—1853) 32, 83, 84, 88, 148, 219
 Друде Пауль (ум. в 1906) 176, 177
 Дутсон Ф. В. 116
 Дьюар Джемс (1842—1923) 96
 Дэви Гемфри (1778—1829) 8, 57, 58, 99, 220

- Дэвисон К. Дж. 143, 161, 187
 Дюане В. 154
 Дюлонг Пьер Луи (1785—1838) 116
 Дюмонд Дж. 47, 126
- Жансен Ж. (1824—1907) 146
 Жолио Фредерик 132, 134
 Жолли Филипп (1809—1884) 152
- Зеебек Томас Иоганн (1770—1831) 57
 Зеебер Людвиг Август (1793—1855) 114, 138, 139, 142
 Зеeman Питер (1865—1943) 49, 50, 120
 Зоммерфельд А. 48, 157, 158, 185, 186
 Зонке Леонард (1842—1897) 139, 140, 185
- Иваненко Д. Д. 123
 Иоос Г. 86
 Иордан П. 160
 Иоффе 184
- Кавендиш Генри (1731—1810) 8, 24, 36, 53
 Камерлинг-Оннес (1853—1926) 67, 95
 Кант 8, 9, 79, 106, 178, 211, 213, 221
 Карно Сади (1796—1832) 95, 99, 108
 Кауфман Вальтер (1871—1947) 28
 Кенен 180
 Кеннеди 86
 Келлер Иоганн (1571—1630) 8, 9, 35, 36, 41, 74, 77, 78, 135, 138, 142, 215
 Кирхгоф Густав Роберт (1824—1887) 23, 47, 60, 145, 146, 174
 Клапейрон Бенуа Поль Эмиль (1799—1864) 109
 Клаузиус Рудольф (1822—1888) 95, 108, 109, 110, 114, 116
 Клеве Теодор (1840—1905) 146
 Клейст Эвальд Георг (род. вскоре после 1700, ум. в 1748) 52
 Клемперер Отто 126
 Клузиус К. 116
 Книппинг П. (1883—1935) 47, 140, 184, 186, 188, 202, 216
 Кноблаух Карл Герман (1820—1895) 47
 Кнудсен М. 116
 Коварский Л. 134
 Колдинг Людвиг Август (1815—1888) 100
 Колер М. 144
 Колладон Жан Даниэль (1802—1892) 31
 Колумб Христофор (1446—1506) 6, 51
 Кольрауш Фридрих (1840—1910) 58, 130
 Кольрауш Эдвард 168
 Кольхерстер Вернер (1887—1946) 123
 Комптон А. Х. 141, 154, 155
 Коперник Николай (1473—1543) 6, 7, 35, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 197, 198, 215
- Корнолис Гаспар Гюстав (1792—1843) 25
 Коссель В. 122, 144, 159
 Кох П. П. 183
 Коши Огюстен Луи (1789—1857) 25, 64
 Креннг Август Карл 114
 Крукс Вильям (1832—1919) 119
 Кулон Огюст (1736—1806) 37, 53, 54, 55, 61
 Кундт Август (1839—1894) 49
 Курлбаум Фердинанд (1857—1927) 149
 Кюри Ирен 132
 Кюри Мария (1867—1934) 127, 128, 133
 Кюри Пьер (1859—1906) 71, 127, 128, 129, 133, 138
- Лаборд А. 129
 Лавуазье Антуан Лоран (1743—1794) 7, 8, 22, 93, 218
 Лагранж Жозеф Луи (1736—1813) 24, 26, 37
 Ламберт Иоганн Генрих (1728—1777) 146
 Ланге Людвиг (1863—1936) 79, 80, 81
 Ландольт Ганс (1831—1910) 22, 105
 Ланжевен Поль (1872—1946) 32, 71, 72
 Лаплас Пьер Симон (1749—1827) 24, 31, 37, 54, 93, 106
 Лармор Джозеф (1857—1942) 49, 118
 Лауэ Макс 67, 79, 89, 140, 141, 144, 151, 154, 201—223
 Лебедев П. Н. (1866—1912) 105, 219
 Левьерье Юрбен Жозеф (1811—1877) 37
 Лейбниц Готфрид Вильгельм (1646—1716) 8, 9, 22, 26, 79, 98, 211
 Ленард Филипп (1862—1947) 120, 153
 Ленин В. И. 201, 208, 213, 215, 217
 Ленц Э. Х. (1804—1865) 60, 67
 Либих Юстус (1803—1873) 102
 Лленар Альфред Мари 66
 де Лиль Жан Батист Роме (1736—1790) 136
 Линде Карл (1842—1934) 96
 Липпман Габриэль (1845—1921) 68
 Лихтенберг Георг Христофор (1742—1799) 40
 Ломоносов М. В. 219, 220
 Лондон Гейнс 189
 Лондон Ф. 161
 Лорентц Гсндрик Антон (1853—1928) 48, 49, 50, 64, 70, 85, 87, 105, 118, 147
 Лоуэлл Персиваль (1855—1916) 38
 Лошмидт Иосиф (1821—1895) 115, 121
 Луммер Отто (1860—1925) 146, 149, 177
 Людвиг Карл (1816—1895) 116
 Лютер Мартин 75

- Магнус Генрих Густав (1802—1870) 92, 113
 Меделунг Вальтер 168
 Майер Юлиус Роберт (1814—1878) 10, 93, 100, 101, 102, 106, 219
 Майкельсон Альберт Абрагам (1852—1931) 44, 81, 85, 86, 88
 Майорана К. 84
 Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879) 39, 48, 49, 61, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 88, 89, 104, 115, 116, 175, 179, 188, 190, 207, 217
 Малюс Этьен Луи (1775—1812) 45
 Марнотт Эдм (1620—1684) 8, 11, 24, 114
 Марк Х. 143
 Маррисон В. А. 16
 Марсден Е. 122
 Маршал Л. 143
 Маттаух Дж. 125
 Мах Эрнст (1838—1916) 9, 84, 94, 213
 Мейер Лотар (1830—1895) 122, 219
 Мейер Эдгар 130
 Мейерманн Б. 18
 Мейснер Вальтер 15, 68, 188
 Мейтнер Лиза 130
 Меллонн Македонно (1797—1854) 47
 Менделеев Д. И. (1834—1907) 122, 219
 Менцер Г. 142
 Мерсенн Марен (1588—1648) 31
 Ми Г. 104
 Миллер Вильям (1801—1880) 137
 Миллер Д. К. 86
 Милликен Р. А. 121, 153
 Минковский Герман (1864—1909) 89
 Митчел Д. П. 143
 Мозли Генри (1887—1915) 122, 141
 Мопертюи Пьер Луи Моро (1698—1759) 26
 Морли Э. В. 85, 86
 Мос Фридрих (1773—1839) 137
 Мушенброк Питер (1692—1761) 52
 Мюллер Генрих (1809—1875) 47

 Науман Карл Фридрих (1797—1873) 137
 Нейман Франц Эрнст (1798—1895) 49, 62, 136, 137
 Непер Джон (1550—1617) 9
 Нерист Вальтер (1864—1941) 9, 58, 95, 110, 118, 156
 Нобль Г. Р. 88
 Ноддак В. 142
 Ньютон Исаак (1643—1727) 8, 9, 20, 21, 22, 23, 26, 31, 35, 36, 38, 39, 42, 44, 54, 66, 68, 70, 77, 78, 79, 81, 98, 218,
 Нэттол Дж. М. 130

 Оккиллани Г. П. С. 126
 Оксенфельд Р. 68
 Олифант М. Л. Е. 132

 Ольшевский Карл Станислав (1846—1915) 96
 Ом Симон (1787—1854) 32, 59, 67
 Оснандер А. 75
 Осгвальд Вильгельм (1853—1932) 9, 103, 213, 221
 Оттинг Г. 88

 Парацельс (1493—1541) 24
 Паскаль Блэз (1623—1662) 23, 24
 Паули В. 159
 Пауэрс П. Н. 143
 Пашен (1865—1947) 43, 158
 Перрен Жан (1870—1942) 119
 Перье 23
 Петржак К. А. 133
 Петров В. В. 218, 219
 Пикар А. 86
 Пикте Марк Огюст (1752—1825) 145
 Пифагор (570—496 до н. э.) 30
 Планк Макс (1858—1947) 26, 27, 99, 104, 110, 111, 112, 117, 121, 149, 150, 152, 155, 156, 159, 160, 162, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 187, 189, 208, 223
 Платон (427—347 до н. э.) 5
 Плюккер Юлиус (1801—1868) 119
 Пойнтинг Джон Генри (1852—1914) 64, 104, 219
 Поль 183
 Понгефер 199
 Понселе Жан Виктор (1788—1867) 98
 Прандталь Л. 25, 210
 Прево Пьер (1751—1839) 145
 Принсгейм Альфред 176
 Принсгейм Эрнст (1859—1917) 149
 Пристли (1733—1804) 53
 Проут Вильям (1785—1850) 122, 123
 Пти Алексис Терез (1791—1820) 116, 155
 Птоломей Клавдий (II столетие н. э.) 73, 74, 77
 Пуазейль Жан Леон (1799—1869) 25
 Пуанкаре Анри (1854—1912) 9, 64, 87, 105, 213
 Пуансо Луи (1777—1859) 25
 Пуассон Симеон (1781—1840) 37, 54

 Рамзай Вильям (1852—1916) 128, 146
 Ратновский С. (1884—1945) 28
 Регенер Э. 130
 Резерфорд Даниил (1749—1819) 24
 Резерфорд Эрнст (1871—1937). 11, 120, 122, 128, 129, 131, 132, 133, 157
 Рейнольдс Осборн (1842—1912) 25, 210
 Рейс Филипп (1834—1874) 32
 Ремер Олаф (1644—1710) 44, 83
 Рентген Вильгельм Конрад (1845—1923) 47, 65, 127, 154, 155, 170, 176, 183, 184, 185, 186, 196, 223
 Реньо Анри Виктор (1810—1870) 92
 Реомюр Рене (1683—1757) 93
 Рессель А. 129
 Риттер Иоганн Вильгельм (1776—1810) 42—43, 57

- Розенбергер Ф. 3
 Ройдс Т. 128
 Россман Ф. 76
 Ротхаркер 3
 Роуланд Генри (1848—1901) 61
 Рубенс Генрих (1865—1922) 149
 Рубинович А. 47
 Румер Э. 15
 Рэлей (1842—1919) 25, 148, 149, 210
 Савар Феликс (1791—1841) 59
 Садлер К. А. 141
 Седдинг Макс 197
 Сименс В. (1816—1892) 10, 60
 Смит Г. Д. 134
 Смолуховский Мариан (1872—1917) 118
 Снел (Снеллиус) Вилиборд (1591—1626) 41
 Совер Жозеф (1653—1716) 31
 Содди Фр. 123, 128, 129
 Сорет Чарльз (1854—1904) 116
 Стахель Э. 86
 Стевиль Симон (1548—1620) 19
 Стенсен Нильс (Николай Стено, 1683—1686) 135
 Стенстрём В. 144
 Стефан Джозеф (1835—1893) 147
 Стивел Г. Р. 88
 Стокс Габриэль (1819—1903) 47
 Стоней Джонстон (1826—1911) 119
 Таке Ида Ева 142
 Тамм И. Е. 123
 Таупли Рихард II
 Томашек Р. 88
 Томсон Василий (граф Румфорд, 1753—1814) 99
 Томсон Вильям (лорд Кельвин, 1824—1907) 65, 96, 103, 108, 138
 Томсон Г. П. 143, 161, 187
 Томсон Джозеф Джон (1856—1940) 119, 120, 124, 157
 Торичелли Еванжелюста (1608—1647) 23, 48, 91
 Трутон Фр. Т. 88
 Уатт Джемс (1736—1819) 10, 95
 Улепбек Г. Е. 159
 Умов Н. А. 219
 Ури Г. К. 124
 Файль 166, 167
 Фарадей Михаил (1791—1867) 39, 50, 54, 55, 57, 59, 60, 62, 63, 68, 88, 118, 207, 218
 Фаренгейт Габриэль Даниэль (1686—1736) 92, 93
 Фаянс К. 129
 Феддерсен Беренд Вильгельм (1832—1918) 65
 Федоров Евграф Степанович (1853—1919) 139
 Ферми Э, 133, 143
 Физо Арман (1819—1896) 44, 83, 182, 216
 Филдджеральд Джордж (1851—1901) 119
 Финшер Куно 178
 Флеров Г. Н. 133
 Фойт Вольдемар (1850—1919) 87, 138, 174, 180
 Форест 15
 Франк Джемс 154, 156
 Франкенгейм Мориз Людвиг (1801—1869) 139
 Фрауэнгофер Иозеф 43, 46, 92
 Френель Огюстен Жан (1788—1827) 46, 47, 48, 49, 83, 137
 Фридрих Вальтер 47, 140, 184, 186, 188, 202, 216
 Фуко Лсон (1819—1868) 44, 81
 Фурье Жан Батист Джозеф (1768—1830) 32, 97, 142
 Халбан Г. 134
 Хевеши Г. 142
 Хладни Эрнст Фридрих (1756—1827) 31, 39
 Хоппе Э. 3
 Хорстман Август (1842—1929) 110
 Хюггис Вильям (1824—1910) 84
 Цельсий Андерс (1701—1744) 93
 Церренер Теодор 165
 Чадвик Дж. 123, 131, 132
 Черни Марианус 168
 Чэпмэн С. 116
 Шайбе А. 16
 Шварцшильд Карл (1873—1916) 158, 173, 181
 Швейдлер Э. 130, 131, 132, 151, 162
 Шверд Магнус (1792—1871) 43, 46, 140, 186
 Шееле Карл Вильгельм (1742—1786) 145
 Шенфлис Артур (1853—1928) 139
 Шиллер 168, 172
 Шмидт Гергард 128
 Шнедлер К. 131, 132
 Шредингер Э. 97, 160, 162
 Штарк Иоганнес 84, 157, 158, 197
 Штерн Отто 114, 115, 143, 159, 161
 Штрассман Ф. 133
 Штурм Якоб Франц (1803—1855) 31
 Эвальд П. Ф. 185, 187
 Эвингс Джемс Альфред (1855—1935) 71
 Эвклид 169
 Эддингтон Артур Стенли (1882—1944) 90

- Эдисон Томас Альва (1847—1931) 32, 58
Эйлер Леонард (1707—1783) 24, 26, 98
Эйнштейн Альберт 27, 28, 38, 70, 73, 75, 87, 88, 89, 90, 118, 126, 150, 153, 154, 155, 156, 162, 182
Эйри Джордж Бидел (1801—1892) 83
Эльзасер В. 143, 161
Эльстер Юлиус (1854—1920) 130
Энский Д. 116
Эпинус Франц Ульрих Теодор (1724—1802) 52, 136
Эпштейн П. С. 158
Эратосфен (275—194 до н. э.) 6
Эрдманн 167
Эренгафт Ф. А. 121
Эрстед Ханс Христиан (1777—1851) 58
Юз Давид (1831—1900) 32
Юкава Х. 123
Юнг Томас (1773—1829) 45, 46, 47, 98
Якоби Карл Густав Якоб (1804—1851) 25, 103
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| Глава 1. Измерение времени | 14 |
| Глава 2. Механика | 19 |
| Глава 3. Гравитация и дальноедействие | 34 |
| Глава 4. Оптика | 41 |
| Глава 5. Электричество и магнетизм | 51 |
| Глава 6. Система отсчета в физике | 73 |
| Глава 7. Основы учения о теплоте | 91 |
| Глава 8. Закон сохранения энергии | 98 |
| Глава 9. Термодинамика | 108 |
| Глава 10. Атомистика | 113 |
| Глава 11. Ядерная физика | 127 |
| Глава 12. Кристаллофизика | 135 |
| Глава 13. Тепловое излучение | 145 |
| Глава 14. Квантовая физика | 152 |

Приложения

| | |
|---|-----|
| Макс Лауэ. Мой творческий путь в физике (автобиография) | 165 |
| И. В. Кузнецов. О книге Макса Лауэ «История физики» 201 | |
| Именной указатель | 224 |

М. Лауэ. История физики.
Редактор *В. А. Григорова.*
Техн. редактор *Н. А. Тумаркина.*
Корректор *З. В. Моисеева.*

Сдано в набор 14/XI 1955 г. Подписано к печати 10/IV 1956 г. Бумага 84 × 108/2.
Физ. печ. л. 7,25+вклейка. Условн. печ. л. 11,99.
Уч.-изд. л. 10,69. Тираж 20 000 экз.
Цена 7 р. 35 к. Т-04108. Заказ № 857.

Государственное издательство
технико-теоретической литературы.
Москва, В-71, Б. Калужская, 15

Министерство культуры СССР. Главное
управление полиграфической промышленности.
4-я тип. им. Евг. Соколовой.
Ленинград, Измайловский пр., 29.