

Макс Планк. Возникновение и постепенное развитие теории „квант“.

Нобелевская речь, читанная 2 июня 1920 г. в
Шведской Академии Наук в Стокгольме.

Перевод с немецкого Вл. Семенченко.

// Под знаменем марксизма. 1923 г. № 2-3,
С. 121-133.

Возникновение и постепенное развитие теории „квант“.

(Нобелевская речь, читанная 2 июня 1920 г. в Шведской Академии Наук в Стокгольме).

Перевод с немецкого Вл. Семенченко.

Если я правильно понимаю смысл принятого мною на сегодня обязательства прочесть публичный доклад относительно моих работ, то думаю, ничто не может лучше соответствовать выполнению этой задачи, важность которой подчеркивается для меня чувством благодарности к великодушному основателю этого учреждения, как попытка набросать вам в общих чертах историю возникновения теории квант и дать вам приблизительную картину развития этой теории до настоящего времени и ее теперешнее значение для физики.

Оглядываясь на времена, лежащие двадцать лет тому назад, когда впервые из целого ряда опытных фактов начали вырисовываться понятие и величина кванты действия и на долгий извилистый путь, приведший, в конце концов, к ее открытию, то кажется мне теперь все это новой иллюстрацией к давно доказанным словам Гёте, что человек ошибается, пока он стремится вперед. И вся напряженная работа духа могла бы показаться прилежному исследователю тщетной и безнадежной, если бы иногда поразительные факты не давали ему в руки неопровержимого доказательства того, что он в конце своего тернистого и извилистого пути, по крайней мере, хоть на шаг приблизится к истине. Преследование определенной цели, привлекательность которой не меркнет от первых неудач, является необходимой предпосылкой, хотя далеко не залогом, для успеха.

Для меня такой целью уже давно было решение вопроса о распределении энергии в нормальном спектре лучистой теплоты¹⁾. С тех пор, как Густав Кирхгофф показал, что свойства теплового излучения, которое образуется в пустом пространстве, ограниченном любыми равномерно нагретыми поглощающими и излучающими телами, вполне независимы от природы этих тел, было доказано существование некоторой универсальной функции, зависящей только от температуры и длины волны, но никоим образом не от особых свойств какого-либо вещества; и отыскание этой замечательной функции сулило более глубокое проникновение в сущность связи между

¹⁾ Лучи различных цветов, т.-е. различных длин волн, содержат далеко не одинаковое количество энергии. При повышении температуры большая часть энергии смещается к лучам с меньшей длиной волны. В видимом спектре такими лучами являются голубые и фиолетовые. Математическим выражением этого является так наз. „закон смещения“ Вина.

энергией и температурой, связи, которая является главной проблемой термодинамики, а следовательно и всей молекулярной физики. Для решения этой задачи не оставалось иного пути, как выбрать из всех различных, встречающихся в природе, тел, какое-нибудь одно с определенной испускательной и поглощательной способностью и вычислить свойства теплового излучения, находящегося с ним в состоянии равновесия. Тогда по теореме Кирхгоффа эти свойства не должны зависеть от свойств тела.

Телом, особенно пригодным для этой цели, показался мне линейный осциллятор Генриха Гертца, законы излучения которого при данном числе колебаний незадолго до этого были вполне установлены Гертцем. Если в пустом пространстве, окруженном зеркальными стенками, находится некоторое число таких Гертцевских осцилляторов, то они так же, как и акустические резонаторы и камертоны, будут, поглощая и испуская электромагнитные волны, обмениваться друг с другом энергией, и, в конце концов, в этом пространстве установится стационарное, т. н. черное излучение, соответствующее закону Кирхгоффа. Тогда я предавался розовым надеждам, кажущимся теперь, конечно, немного наивными, что законов классической электродинамики, взятых в достаточно общем виде и освобожденных от специальных гипотез, достаточно, чтобы понять важнейшее в рассматриваемом процессе и достичь таким образом желанной цели. Тогда я вывел законы излучения и поглощения линейного резонатора из возможно более общих оснований, действуя обходным путем, которого я мог бы вполне избежать, применяя электронную теорию Г. А. Лоренца, в то время уже вполне законченную в основных положениях. Но так как я не вполне доверял электронной гипотезе, то я предпочел рассматривать энергию, входящую и выходящую из шаровой поверхности, описанной определенным радиусом около резонатора. При этом рассматриваются только процессы в пустоте, знания которых достаточно, чтобы вывести необходимые заключения об изменении энергии резонатора.

Плодом длинного ряда исследований, из которых отдельные могли быть поверены сравнением с опытными данными, именно, с измерениями затухания Бьеркнеса, и при этом подтвердились, было установление общей зависимости между энергией резонатора определенного периода и энергией излучения соответствующей спектральной области в окружающем поле при стационарном обмене энергии. При этом получился замечательный результат, что это отношение совершенно не зависит от природы резонатора, даже от его постоянной затухания ¹⁾, обстоятельство особенно благоприятное и радостное

¹⁾ Если маятник незаведенных часов толкнуть, то он будет совершать колебания, размах которых будет постепенно уменьшаться. Такие колебания могут служить

для меня, так как, благодаря ему, всю проблему можно было упростить, заменяя энергию излучения энергией резонатора, отчего запутанная система со многими степенями свободы²⁾ заменялась простой системой с одной единственной степенью свободы.

Конечно, этот результат обозначал не более, как подготовительный шаг в одолении самой проблемы, которая теперь казалась еще неприступнее в своей страшной высоте. Первая попытка завоевать ее не удалась, так как моя первоначальная робкая надежда на то, что испускаемое резонатором излучение будет каким-нибудь характерным образом отличаться от поглощаемого, благодаря чему явилась бы возможность вывода дифференциального уравнения, интеграцией которого можно было бы получить особенные условия для свойств стационарного излучения, оказалась обманчивой. Резонатор реагировал только на те лучи, которые он сам испускал, и оказывался совершенно нечувствительным к соседним областям спектра.

К тому же мое утверждение, что резонатор может производить одностороннее, следовательно, необратимое действие на энергию окружающего излучения, вызвало энергичные возражения со стороны Людвиг Больцмана, доказывавшего со всей своей опытностью в таких вопросах, что по законам классической динамики каждый из рассмотренных мною процессов может идти в совершенно противоположном направлении таким образом, что излученная резонатором шаровая волна обратно, в виде непрерывно уменьшающейся шаровой поверхности, сгустится на резонаторе и будет опять поглощена им, благодаря чему энергия, только что им поглощенная, будет снова испускаться в пространство по тем же направлениям, по которым она пришла; и если даже я могу исключить введением ограничительного предположения, а именно гипотезы естественного излучения, подобные отдельные явления, как направленная внутрь шаровая волна, то все-таки из этого анализа выясняется все отчетливее, что для полного понимания сущности всего вопроса недостает еще важного связующего звена.

Тогда мне не оставалось ничего другого, как попытаться одолеть эту задачу с противоположной стороны, термодинамической, где я

затухающих колебаний. В формулу, выражающую свойства затухающего колебания, входит некоторая величина, постоянная для данного колебания и служащая мерилем скорости затухания. *Прим. перев.*

2) Степенями свободы данного движения называются величины, необходимые для определения положения движущегося тела. Напр., подъемник лифта имеет одну степень свободы, так как может двигаться только в вертикальном направлении, и его положение вполне определяется высотой, на которую он поднялся. Тело, движущееся по плоской поверхности, имеет две степени свободы для определения положения точки на плаче нужно знать долготу и широту, т.е. две величины). Прибавляя еще движение вверх, мы получим три степени свободы и т. д. *Прим. перев.*

чувствовал себя более компетентным. Здесь мне помогли мои более ранние работы по второму началу термодинамики в том отношении, что я сразу установил отношение между энергией (а не температурой) резонатора и его энтропией и даже не самой энтропией, но ее второй производной по энергии, так как эта производная обладает прямым физическим значением для необратимости обмена энергией между резонатором и излучением. Так как я в то время был настроен еще слишком феноменологически, чтобы задаться вопросом о связи между энтропией и вероятностью, то я обратил прежде всего внимание на непосредственные результаты опыта. Тогда в 1899 году наиболее интересным представлялся только что выведенный Вином закон распределения энергии, экспериментальной проверкой которого были заняты Пашен в высшей школе в Ганновере и Луммер и Принсгейм в государственном физическом институте в Шарлоттенбурге. Этот закон представляет зависимость интенсивности излучения от температуры с помощью показательной функции. Вычисляя обусловленную им связь между энтропией и энергией резонатора, получаем замечательный результат, что обратное значение вышеупомянутой производной, которую я хочу обозначить здесь через R , пропорционально энергии. Это весьма простое отношение может считаться вполне адекватным выражением Виновского закона распределения энергии потому, что при помощи общеизвестного закона смещения Вина оно вместе с зависимостью от энергии дает непосредственно и зависимость от длины волны.

Так как во всех этих вопросах дело шло об универсальном законе природы и так как я тогда так же, как и теперь, держался мнения, что закон природы выражается тем проще, чем он общее, причем, конечно, вопрос, какую формулировку рассматривать, как более простую, не всегда можно решить несомненно и окончательно, то я думал одно время, что в положении о пропорциональности величины R энергии нужно видеть основу всего закона распределения энергии. Но такое предположение вскоре оказалось неустойчивым перед результатами новых измерений. Именно, в то время, как для небольших значений энергии и для коротких волн закон Вина вполне подтвердился, для более длинных волн Луммер и Принсгейм установили заметные отклонения, а измерения, произведенные Рубенсом и Курльбаумом с остаточными лучами ¹⁾ плавикового шпата и каменной соли, обнаружили отношения совершенно другого рода, но также чрезвычайно простые, которые характеризуются тем, что величина R про-

¹⁾ Остаточными лучами называются лучи, полученные многократным отражением лучка света от ряда поверхностей, сделанных из определенного вещества. *Прим. перев.*

порциональна не энергии, но квадрату энергии, при том, тем точнее, чем к большим энергиям и длинам волн мы переходим.

Таким образом прямым опытом для функции R были определены две границы: для малых энергий пропорциональность с энергией, для больших энергий — с квадратом энергии. Ничего не было проще, как приравнять для общего случая величину R сумме двух членов: одного, содержащего энергию в первой степени, другого — во второй, таким образом, чтобы для малых энергий первый, для больших — второй член имел перевес, и таким образом была найдена новая формула излучения, которая вполне удовлетворительно выдерживала до сих пор экспериментальную поверку. Конечно, сейчас нельзя говорить об окончательном подтверждении ее опытом, скорее была бы весьма желательна новая поверка.

Но даже если эта формула излучения оказалась бы абсолютно точной, то она имела бы очень ограниченное значение, только как счастливо отгаданная интерполяционная формула. Поэтому я со дня ее нахождения был занят задачей установления ее истинного физического смысла, и этот вопрос привел меня к рассмотрению связи между энтропией и вероятностью, т. е. к Больцмановскому образу мыслей. После нескольких недель напряженнейшей работы в моей жизни, темнота рассеялась и показались новые неподозреваемые раньше дали.

Разрешу себе здесь небольшое отступление. По Больцману, энтропия является мерой для физической вероятности, и сущность второго начала термодинамики состоит в том, что в природе какое-либо состояние встречается тем чаще, чем оно вероятнее. В действительности измеряется всегда не сама энтропия, но только разность энтропий, и поэтому без известного произвола нельзя говорить об энтропии какого-нибудь состояния. Но все-таки рекомендуется введение определенной надлежащим образом абсолютной величины энтропии из соображения, что посредством ее можно известные общие теоремы формулировать особенно просто. Также не измеримы и сами энергии, а только их разности. Поэтому раньше вычисляли не энергию, но работу, и Эрнст Мах, который много занимался законом сохранения энергии, но избегал принципиально всех рассуждений, выходящих за пределы области непосредственного наблюдения, всегда старался не говорить о самой энергии. Также и в термохимии придерживались вначале теплового эффекта, т. е. разности энергий, пока Вильгельм Оствальд с убедительностью не указал, что многие растянутые рассуждения могут быть значительно сокращены, если их вычислять не с калориметрическими цифрами, а с самыми энергиями. Добавочная постоянная, оставшаяся тогда еще неопределенной в выражении энергии, позже была окончательно определена гео-

ремой теории относительности о пропорциональности между энергией и инерцией¹⁾.

Подобно тому, как для энергии можно теперь определить абсолютное значение, так же и для энтропии и, следовательно, для физической вероятности, определяя добавочную постоянную из условия, что энтропия исчезает вместе с энергией (еще лучше с температурой). На основании подобных рассуждений получается для вычисления физической вероятности определенного распределения энергии в системе резонаторов относительно простой прием комбинаторики, который приводит к такому же точно выражению энтропии, как и закон излучения, и после многих испытанных разочарований мне доставило особенное удовлетворение, что Людвиг Больцман выразил свой интерес и принципиальное согласие с развитыми мной идеями в письме, которым он ответил на присылку моей работы.

Чтобы провести упомянутое вычисление вероятности, необходимо знание двух универсальных постоянных, каждая из которых имеет самостоятельный физический смысл. Возможно их определение из закона излучения, а, следовательно, и решение вопроса — представляет ли весь этот способ только искусственный вычислительный прием или он имеет определенный физический смысл. Первая постоянная более формального характера, она связана с определением температуры. Определяя температуру, как среднюю кинетическую энергию²⁾ одной молекулы идеального газа, т.е. как ничтожно малую величину, мы получаем для этой постоянной значение $\frac{2}{3}$. В обще-

принятых единицах температуры эта константа, напротив, принимает чрезвычайно малое значение, которое естественно стоит в тесной связи с энергией одной молекулы и точное значение которой приводит поэтому к вычислению массы одной молекулы и связанных с ней величин. Эта постоянная часто обозначается, как больцмановская постоянная, хотя сам Больцман никогда не вводил ее, насколько я знаю; особое обстоятельство, которое объясняется тем, что Больцман, как это ясно из его случайного мнения, совершенно не думал о возможности точного измерения этой постоянной. Ничто не может лучше иллюстрировать те бурные успехи, которые сделаны в последние двадцать лет экспериментальным искусством, как факт, что теперь

¹⁾ Абсолютная величина энергии равна произведению массы на квадрат скорости света. *Прим. автора.*

Так как скорость света равняется 300.000 километрам в секунду, то ясно, что абсолютная энергия даже незначительного количества вещества должна быть колоссальной.

Прим. перев.

²⁾ Кинетической энергией тела называется половина произведения его массы на квадрат его скорости. *Прим. перев.*

открыт не один, но целое множество методов измерения массы одной молекулы с такой же точностью, как и массы планеты.

В то время, когда я произвел соответствующее вычисление из формулы закона излучения, точная проверка полученного числа была вообще невозможна и не оставалось ничего другого, как определить допустимость порядка его величины. Вскоре Резерфорд и Гейгер определили, посредством прямого счета α частиц¹⁾, значение элементарного электрического заряда в $4,65 \cdot 10^{-10}$ электростатических единиц²⁾, согласование которого с вычисленным мной числом $4,69 \cdot 10^{-10}$ может рассматриваться, как решительное подтверждение пригодности моей теории. С тех пор методы, разработанные Регенером, Мелликаном и друг., привели к небольшому повышению этого значения.

Значение второй универсальной постоянной закона излучения, которую я назвал элементарной квантой действия, так как она представляет произведение энергии и времени, равной по первому вычислению $6,55 \cdot 10^{-27}$ эргам³⁾ в секунду, было менее понятно. Она была совершенно необходима для получения правильного выражения энтропии, так как только с ее помощью можно было определить величину элементарной области вероятности, но не поддавалась никаким попыткам уместить ее в каком-нибудь подобающем виде в рамки классической теории. При больших энергиях или больших периодах времени, пока их можно было рассматривать как бесконечно малые, все было в полном порядке, но в общем случае раскрывалась в каком-нибудь месте щель, раскрывавшаяся еще больше при переходе к более слабым и быстрым колебаниям. Крушение всех попыток перебросить мост через возникшую пропасть вскоре не оставляло никакого сомнения: или кванта действия была фиктивная величина и тогда весь вывод закона излучения был принципиально иллюзорным и представлял просто лишенную содержания игру в формулы, или при получении этого закона в основе была положена правильная физическая мысль—тогда кванта действия должна была играть в физике фундаментальную роль, тогда появление ее возвещало нечто совершенно новое, до того неслыханное, что, казалось, требовало пре-

1) Радий испускает три рода лучей: α —заряженные электричеством атомы элемента гелия, β —свободные электроны и γ —аналогичные лучам Рентгена. Подробнее смотреть об этом статью Дарвина в журнале „Под знаменем марксизма“ за 1922 г., № 4-й (апрель).

Прим. перев.

2) Электростатической единицей электричества называется количество электричества, которое может поддерживать в воздухе заряженный таким же зарядом шарик, весящий $\frac{1}{1000}$ грамма и находящийся на расстоянии 1 сантиметра. Приведенный в тексте заряд — заряд одного электрона и одной β -частицы. *Прим. перев.*

3) Если работу умножить на то время, в которое она произведена, то полученная величина наз. действием. Единица действия—поднятие приблизительно $\frac{1}{1000}$ грамма на высоту одного сантиметра в секунду, наз. эргом. Кванта действия и представляет $6,55 \cdot 10^{-27}$ частей этой величины. *Прим. перев.*

образования самых основ нашего физического мышления, покоившегося, со времен обоснования анализа бесконечно малых Ньютоном и Лейбницем, на предположении о непрерывности всех причинных связей.

Опыт решил в пользу второй альтернативы. Но тому, что это произошло так скоро и определенно, наука обязана не подтверждению закона распределения энергии теплового излучения, тем более — не данному мною специальному способу вывода этого закона, она обязана неустанно стремившейся вперед работе тех исследователей, которые пользовались в исследованиях понятием кванты действия.

Первый толчок к этому был дан А. Эйнштейном, который, с одной стороны, указал на то, что для ряда замечательных наблюдений о действии света, как правило Стокса ¹⁾, испускание электронов ²⁾, ионизация газов ³⁾, повидимому, можно получить простое объяснение, если ввести, обуславливаемые квантой действия, кванты энергии, а с другой стороны, отождествляя выражение энергии системы резонаторов с энергией твердого тела, получил формулу для теплоемкости твердого тела, дающую в общем правильное представление об изменениях теплоемкости, в особенности об ее уменьшении при низких температурах. При этом поднято было немало различных вопросов, всесторонняя точная разработка которых требовала с течением времени числовых данных.

Даже приблизительно полный обзор множества выполненных здесь работ не может быть моей задачей; речь может идти лишь о том, чтобы отметить важнейшие характерные этапы на пути развивающейся науки.

Сначала кое-что о термических и химических явлениях. Что касается теплоемкости твердого тела, то вывод Эйнштейна, основанный на предположении одного единственного собственного колебания атома, был распространен М. Борном и Карманом на случай собственных колебаний различного рода, ближе соответствующий действительности, и Дебай получил, при помощи смелого упрощения в предположении о характере собственных колебаний, относительно простую формулу для теплоемкости твердого тела, которая не только

1) Правило Стокса относится к так называемым явлениям флюоресценции, состоящим в том, что некоторые вещества при освещении принимают характерную окраску, видимую главным образом сбоку. По правилу Стокса длина волны света, возбуждающего флюоресценцию, всегда меньше длины волны света флюоресценции. *Прим. перев.*

2) Поверхности некоторых металлов при освещении испускают электроны. Обычно это явление называется фотоэлектрическим эффектом. *Прим. перев.*

3) Молекулы некоторых газов при освещении рентгеновскими и короткими световыми лучами теряют один или несколько электронов, отчего делаются положительно заряженными. *Прим. перев.*

давала для низких температур совершенно те же значения, как и измеренные Нернстом и его учениками, но и хорошо согласовалась с упругими и оптическими свойствами тела. Также выяснилось и значение кванты действия для теплоемкости газов. Еще раньше Нернст указал на то, что кванте энергии колебания должна соответствовать кванта энергии вращения и поэтому можно было ожидать, что и вращательная энергия молекулы газа исчезает при низких температурах. Измерения теплоемкости водорода Эйкеном подтвердили это заключение, и если вычисления Эйнштейна, Штерна, Эрнфеста и друг. до сих пор не дали никакого удовлетворительно согласующегося с опытом результата, то причиной этого, понятно, является наше еще далеко неполное знание модели молекулы водорода. После работ Бьеррума, Евы Бар, Рубенса и Геттнера и друг. о полосах поглощения инфра-красной части спектра нельзя больше сомневаться в том, что в природе действительно существуют подчиняющиеся квантовым условиям вращения молекулы, хотя до сих пор еще нельзя дать всесторонне исчерпывающего объяснения этих замечательных ротационных спектров.

Так как в конце концов все свойства химического средства какого-либо вещества обусловлены его энтропией, то кванто-теоретическое вычисление энтропии дает возможность подхода ко всем проблемам учения о средстве. Абсолютное значение энтропии газа характеризуется химической константой Нернста, которую Сакур вычислил прямо при помощи приема комбинаторики, подобного примененному мной к осцилляторам, а Штерн и Тетроде определили, посредством рассмотрения процесса испарения, разность энтропий в газообразном и твердом состоянии, в приложении к данным, полученным ими из измерений.

Если в рассмотренных до сих пор случаях дело шло постоянно о состоянии термодинамического равновесия, для которого измерения могут дать относящиеся к большим периодам времени и многим частицам статистические средние значения, то наблюдение столкновений электронов вводит в частности динамики исследуемого процесса, и поэтому, произведенное Франком и Герццем определение так называемого резонансного потенциала или той критической скорости, которой должен обладать электрон, чтобы при столкновении с нейтральным атомом побудить его к испусканию одного светового кванта, дает метод измерения кванты действия, прямее которого невозможно и желать. Для возбуждения открытого Барклой характеристического рентгеновского излучения можно по исследованиям Вебстера, Вагнера и др. найти соответствующие методы, которые приводят к хорошо согласующимся результатам.

Испускание световой кванты при ударе электронов представляет процесс, обратный испусканию электронов при освещении световыми рентгеновскими и γ -лучами, и здесь кванты энергии, выражающиеся через кванту действия и частоту колебания, играют характерную роль, как это уже раньше можно было понять из поразительного факта, что скорость испускаемого электрона зависит не от интенсивности освещения, но только от цвета падающего света. Вышеупомянутое Эйнштейновское отношение к световым квантам подтвердилось во всех отношениях и количественно, что было определено Миликаном измерением скорости, с которой вылетает испускаемый электрон, в то время как Варбург открыл значение световой кванты для начального периода фотохимических реакций ¹⁾.

Если, приведенные мной до сих пор, взятые из различнейших областей физики, опытные факты представляют подавляющий материал в пользу существования кванты действия, то с обоснованием и развитием теории атома Нильсом Бором гипотеза квант получила еще более прочную основу. В кванте действия эта теория получила долго искомый ключ к воротам в чудесную страну спектроскопии, которая со времени открытия спектрального анализа упорно не поддавалась всем попыткам открыть ее. Как только путь освободился, полился целый поток новообретенных познаний о целой области одинаково близкой как физике, так и химии. Первым блестящим достижением было получение формулы серии Бальмера ²⁾ для водорода и гелия включительно до выражения универсальной постоянной Ридберга через хорошо известные величины, при чем даже небольшая разница этих постоянных для водорода и гелия оказалась необходимо обусловленной движением тяжелого атомного ядра. Это закончилось открытием других серий в оптическом и рентгеновском спектре с помощью всегда плодотворного комбинационного принципа Ритца, только теперь понятного во всем своем основном значении.

После того, как Зоммерфельд показал, что при надлежащем распространении закона распределения квант на систему с многими степенями свободы при условии учета, требуемого теорией относительности, изменяемости массы ³⁾, получается волшебная формула, по

¹⁾ Фотохимическими называются реакции, происходящие под действием света.

Прим. перев.

²⁾ Линии спектров различных элементов распределены не беспорядочно, а по так называемым сериям, при чем Бальмеру еще в 1885 г. удалось найти формулу, которой подчинилось распределение линий спектра водорода. Но эта формула была только остроумной догадкой, а Бор установил связь строения атома с его спектром. *Прим. перев.*

³⁾ По принципу относительности масса тела зависит от его скорости и возрастает пропорционально ей. Впрочем, это делается заметным лишь при скоростях близких к скорости света, следовательно для обычной жизни значения не имеет. *Прим. перев.*

которой спектры водорода и гелия должны были открыть загадку их тонкой структуры, насколько она вообще была определена измерениями Пашена, тончайшими из всех ныне возможных, работа вполне равноценная знаменитому открытию планеты Нептуна, существование и элементы орбиты которой были вычислены Леверрье, раньше чем ее видел человеческий глаз. После всего этого даже те, кто, несмотря на количественные совпадения, которые при чрезвычайной точности спектроскопических измерений должны быть особенно убедительны, все еще склонялись считать все это игрой случая, в конце концов принуждены были бросить последние сомнения. Идя дальше по этому пути, Эпштейн добился полного объяснения эффекта Штарка—расщепления спектральных линий в электрическом поле. Дебай раскрыл простое значение исследованной Манном Зигбаном К-серии рентгеновского спектра, и за этим следует целый ряд исследований, более или менее успешно раскрывающих тайну строения атома.

После всех этих результатов, для полного изложения, которых сюда нужно было бы привлечь еще другое громкое имя, судье, который не желает идти против фактов, не остается ничего другого, как дать кванте действия, которая из пестрого множества различных процессов в каждом отдельном всегда появлялась как одна и та же величина, именно $6,54 \cdot 10^{-27}$ эргов в секунду, полные права гражданства в системе универсальных физических постоянных. Должно показаться странным совпадением, что в то время, когда мысль об общей относительности проложила себе свободную дорогу и достигла неслыханных успехов, природа открыла там, где этого менее всего можно было ожидать, нечто абсолютное, некоторую действительно неизменяемую единицу измерения, посредством которой можно содержащуюся в пространственно-временном элементе величину действия выразить совершенно определенным свободным от произвола числом, отчего она лишится своего относительного характера.

Конечно, введение кванты действия еще не создает никакой истинной теории квант. Может быть путь, который еще остался исследованию, не менее далек, чем путь от открытия скорости света Олафом Ромером до обоснования теории света Максвеллом. Выше я уже касался трудностей, которые возникли с самого начала при введении кванты действия в классическую теорию. С течением времени они скорее увеличились, чем уменьшились, и если за этот промежуток бурно несущееся вперед исследование перешло на время от них к текущим вопросам, то удручают добросовестного систематика эти зияющие пустоты еще мучительнее. То, что является в теории Бора основным предположением при установлении законов, действующих в атоме, слагается из известных гипотез, которые, без сомнения, каждым физиком прошлого поколения были бы совер-

шенно отвергнуты. Еще можно считать приемлемым то, что известные, отмеченные совершенно определенными квантовыми условиями пути играют особенную роль, менее легко принять, что электроны двигающиеся по этим путям с ускорением, не излучают совершенно никакой энергии ¹⁾. Но теоретику классической школы должно показаться чудовищным и совершенно неприемлемым требованием для способности воображения, что четко определенная частота испускаемой световой кванты должна быть иной, чем частота излучающего электрона.

Но цифры решили это дело иначе, и вследствие этого теперь роли изменились по сравнению с прошлым. Вначале дело шло о том, каким образом новый чуждый элемент с большими или меньшими усилиями втиснуть в рамки общепринятых теорий, теперь, завоевав верное место, он с своей стороны перешел в нападение и сейчас уже ясно, что эти старые рамки будут сломаны им каким-нибудь образом. Неясно еще только, где и в какой степени ему удастся сделать это.

Если позволительно уже сейчас высказать мнение об ожидаемом исходе этой горячей битвы, то, кажется, все говорит за то, что из классических теорий великие принципы термодинамики и в теории квант не только сохраняют в неприкосновенности свое центральное положение, но даже соответствующим образом расширят свои владения. То значение, которое принадлежало при обосновании классической термодинамики умственному эксперименту, в теории квант принадлежит адиабатной гипотезе Эренфеста, и, как Клаузиусом за исходный пункт при измерении энтропии была введена теорема о возможности, при подходящем подборе обратимого процесса, два любых состояния материальной системы перевести друг в друга, так показывают нам новые идеи Бора соответствующий путь во внутренность открытой им страны чудес.

Существует особенно один вопрос, от исчерпывающего ответа на который мы должны, по моему мнению, ожидать многозначущих выяснений. Что будет после полного испускания с энергией одной световой кванты? Будет ли она по волновой теории Гюйгенса расширяться при дальнейшем распространении по всем направлениям, занимая все больше пространства и бесконечно утончаясь? Или по ньютоновской теории истечения она полетит, как брошенный снаряд, в одном направлении? В первом случае кванта не была бы в состоянии сконцентрировать свою энергию в одном месте пространства настолько, чтобы она смогла освободить электрон, связанный с атомом, но во втором пришлось бы пожертвовать главнейшим триумфом теории Максвелла: непрерывностью между статическим и динамическим по-

¹⁾ По электронной теории всякое изменение скорости движения электрона влечет излучение им электромагнитной энергии. *Прим. перев.*

лем, а вместе с этим и вполне разработанной до тончайших подробностей теорией интерференционных явлений. И то и другое следствие одинаково печально для теперешних теоретиков.

Но и здесь будет как всегда: ни в каком случае не может быть сомнения, что наука преодолет также и эту тяжелую дилемму, и то, что сегодня кажется нам непонятным, когда-нибудь будет казаться особенно простым и гармоничным. Но прежде чем эта цель будет достигнута, проблема кванты действия не перестанет побуждать и оплодотворять мысль исследователей, и чем большие трудности представляются в ее решении, тем важнее она окажется для расширения и углубления всего нашего физического знания.

Современное естествознание и материализм Маркса и Энгельса.

(„Философия науки“ под ред. А. К. Тимирязева, и его же „Кинетическая теория материи“, акад. И. И. Павлова, „Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности животных“).

Естественные науки, без сомнения, являются одним из камней того фундамента, на котором Маркс и Энгельс построили свое материалистическое мировоззрение. И Маркс и в особенности Энгельс очень много занимались естествознанием, при чем ни одно крупное открытие в этой области не ускользало от их внимания. Но, занимаясь естествознанием, признавая огромное значение открытий и достижений в сфере наук о природе, Маркс и Энгельс прекрасно понимали, что ученые естествоиспытатели, оставаясь материалистами в своей лаборатории, на кафедре и публично сплошь и рядом выступают самыми яркими защитниками идеалистической философии. Диалектическая революционная сторона естествознания такими учеными, служителями буржуазии, намеренно замалчивалась и затушевывалась, больше того, основное здоровое ядро тех теорий, которые создавались выдающимися учеными естествоиспытателями, такого сорта людьми просто искажались.

Понятно поэтому, что ознакомление русской учащейся молодежи с первоисточниками, из которых берут свое начало эти истинно-материалистические теории и взгляды, в высшей степени важно и желательно. Издание некоторых произведений (речей и докладов) выдающихся естествоиспытателей, предпринятое т. А. К. Тимирязевым,