

Теория „квант“ и современная физика.

27 апреля 1900 года лорд Кельвин, один из величайших представителей естествознания, уходившего в область прошлого XIX века, прочел в Лондонском Королевском Институте лекцию, носившую несколько сентиментально-поэтическое заглавие: „О тучах, появившихся в конце XIX столетия и нависших над динамической теорией тепла и света“.

С первых же слов этой замечательной лекции выяснилось, что речь будет итти о двух противоречиях, которые к концу XIX столетия наметились со всей отчетливостью в учении о свете и тепле и которые никак не удавалось разрешить...

Теперь, 23 года спустя, мы еще не можем сказать, что вполне готовы отвечать на все поставленные тогда вопросы, но во всяком случае мы без всяких колебаний, подражая стилю Кельвина, можем сказать: одна из этих туч разразилась принципом относительности, другая—теорией „квант“!

Первое событие произошло в 1905 году, когда в *Annalen der Physik* была напечатана статья А. Эйнштейна, второе событие случилось несколько раньше—в том самом 1900 году, когда Кельвин прочел свою лекцию. Надо, впрочем, оговориться, что когда появилась работа Берлинского профессора Макса Планка, в которой было сделано предположение, что свет и вообще лучистая энергия выделяется ее источником не сплошным и непрерывным потоком, а в виде ряда следующих друг за другом взрывов—строго определенными по величине „порциями“ или „квантами“, то еще не было ясно, что эта новая теория—быть может наиболее революционная из когда-либо появлявшихся на почве физики—захватывает, и даже с избытком, ту область, которую Кельвин назвал „второй тучей“.

Приходится только удивляться проницательности великого физика, который на склоне своих дней¹⁾ отчетливо увидал куда направится научная мысль в ближайшие десятилетия, наступившего XX столетия.

¹⁾ Кельвину в это время было 76 лет.

Судьба этих двух новых теорий оказалась весьма различной. Кто в наше время не слыхал о теории относительности и не поддержал в руках одной из бесчисленных книжек, распространяющих вкрай и вкось это учение? С другой стороны, можно спросить: много ли найдется не специалистов, которые хоть что нибудь слышали о теории квант кроме туманных намеков?

Спросите теперь специалиста, и он вам скажет, что нет ни одной области физики, куда бы не проникла теория квант: не овладев ею, физику невозможно следить за новыми успехами своей науки и в то же время даже такой горячий сторонник принципа относительности, как профессор Зоммерфельд, пишет: „в противоположность широко распространенному взгляду — влияние принципа относительности на реальное изучение природы весьма ограничено“... Вдумываясь в эти слова Зоммерфельда мы быть может найдем объяснение, почему этим двум учениям был оказан такой различный прием с одной стороны у небольшой группы специалистов и, с другой, в более широких кругах мыслящего человечества.

В самом деле, чем меньше влияния оказывает какая-либо теория на реальное изучение природы, тем меньше фактов требуется, чтобы иллюстрировать эту теорию, чтобы ее обосновать в элементарном изложении, а это ведь крайне облегчает, по существу нелегкую, задачу популяризации. При популярном изложении принципа относительности можно очень быстро от скучных описаний деталей опытов перейти к отвлеченным чисто-умозрительным рассуждениям о пространстве и времени, рассказ можно разнообразить фантастическими, реально неосуществимыми, мысленными опытами — все это действует на воображение и легко удерживает внимание читателя или слушателя.

Ту же мысль подчеркивает и профессор Ричардсон в своей президентской речи на съезде британской ассоциации в 1921 году, указывая, что, по его мнению, успех теории относительности объясняется тем, что в ней хорошо знакомые всем и каждому понятия пространства и времени истолковываются „в очень приятной для весьма многих степени непонятным образом“.

Если же мы обратимся к теории „квант“, то перед нами сразу вырастет целый лес новых фактов, самых неожиданных сопоставлений: в одно стройное целое связываются целые области науки, не имевшие раньше ничего общего между собой. И вот если мы попытаемся дать хотя сколько-нибудь серьезное представление о роли этой новой теории в современной физике, останавливаясь при этом только на наиболее существенных чертах, то нам придется погрузиться в самую гущу текущей работы современного физика, — в гущу его текущих мыслей с их, быть может, мелкими будничными подроб-

ностями, без которых, однако, немыслимо уловить основного их содержания. Вот почему так мало еще распространилась теория кванта за пределы узкого кружка специалистов, и вот почему, вероятно, очень многим читателям и настоящий очерк покажется крайне скучным.

Едва ли не самая блестящая победа, среди громадного числа других, уже одержанных теорией кванта, состоит в применении этой теории к объяснению распределения спектральных линий в спектре водорода и к объяснению строения водородного атома. Первый шаг в этом направлении сделал датский физик Нильс Бор в 1913 году. Эта сторона теории особенно интересна потому, что она особенно наглядно показывает ошибочность философских взглядов Маха и Авенариуса, когда то пользовавшихся успехом даже среди некоторых из физиков.

Но сначала несколько слов о спектральных линиях. Если мы рассматриваем при помощи спектроскопа свет, исходящий от светящегося газа не очень большой плотности, то мы вместо обычной полосы спектра, содержащего все цвета радуги, видим ряд узких светлых полосок различных цветов¹⁾, носящих название спектральных „линий“. Таким образом светящийся газ дает не все составные части белого света, а лишь очень небольшое число областей в разных частях спектра, в который развертывается белый свет при его разложении призмой. Конечно, слово „линия“ надо понимать условно, не в абстрактно-математическом смысле этого слова. Речь идет здесь об очень узкой области спектра в той или другой его части и соответственно этому спектральная линия имеет тот или другой цвет и воспринимается глазом или одним из наших искусственных способов открывать невидимые лучи (чувствительные термо-электрические термометры, фотографические пластиинки, светящиеся экраны и т. д.), которые мы употребляем для изучения инфра-красных и ультра-фиолетовых невидимых частей спектра, непосредственно примыкающих к фиолетовому и красному краям видимого спектра.

Различию в цветности объективно соответствуют различия в длинах волн, соответствующих этим цветам. Весь видимый спектр, начиная от темно-красного через оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и кончая фиолетовым, соответствует очень небольшому различию в длинах волн—от 7 до 4 десятитысячных долей миллиметра. Это очень хороший пример на переход количества в качество: все бесчисленные оттенки цветов радуги, дающие несомненно качественно

¹⁾ Газы при известных условиях могут давать спектры с широкими светящимися полосами весьма сложного строения, называемые немцами „полосатыми спектрами“ (Bandenspectrum), но в рассмотрение этих явлений мы вдаваться в настоящем очерке не будем.

различные ощущения и резко отличающиеся по своим разнообразным действиям, сводятся к малым непрерывным изменениям длины волны. Точность современных спектральных измерений так велика, что на указанном малом интервале мы в состоянии отмеривать и отличать друг от друга до 300.000 отдельных участков спектра.

Вообще надо сказать, что вопреки скептическому взгляду не специалиста на световые волны, это такие величины, которые нам удается измерять с самой большой точностью с какой вообще человеку удавалось что-нибудь измерить. Для измерения длины волны употребляют в качестве единицы одну стомиллионную долю сантиметра, носящую название единицы Онгстрёма. Выраженная в этих единицах длина волны, соответствующая красной линии водорода, изображается числом $\lambda = 6573,07$; таким образом измерять можно еще сотые доли единицы Онгстрёма, т.-е. десятимilliардные доли сантиметра.

Совершенно ясно поэтому, что мы, по выражению Зоммерфельда, можем говорить о „спектроскопической“ точности, которая во много раз превосходит, всем хотя бы и по наслышке только известную, т. н. „астрономическую“.

Очень часто, однако, в спектроскопических исследованиях, спектральная „линия“ характеризуется не длиной волны λ , а числом колебаний в секунду, вызывающих данную волну. Представим себе, что источник волн испускает эти волны непрерывно в течение секунды. За эту секунду свет успевает распространиться на 300.000 километров и, следовательно, все вышедшие за это время из данного источника волны уложатся одна за другой на этом громадном промежутке. Число волн мы удаляем, разделив $c = 300.000$ километров $= 3 \cdot 10^{10}$ сантиметров (30 миллиардов сантиметров) на длину одной волны λ (конечно надо, чтобы обе величины были выражены через одни и те же единицы длины: сантиметры, метры или Онгстрёмовы единицы). Но это число $v = \frac{c}{\lambda}$ равное числу волн, выпущенных данным источником в секунду, равно числу колебаний, производящих эти волны в данном источнике, так как каждое полное колебание производит одну волну с гребнем и долиной, подобно тому, как полный размах руки, держащей за один конец длинную веревку, вызывает в этой веревке одну полную волну.

Иногда в спектральных исследованиях берут не число колебаний v или, что то же самое, число волн, выпущенных источником в одну секунду, а характеризуют данную спектральную линию числом волн, укладывающихся на одном сантиметре $v_1 = \frac{1}{\lambda}$, что равняется

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ разделенному на с. Эти сведения из области спектральной техники или вернее спектрального правописания нам сейчас же пригодятся.

Первые систематические исследования спектров светящихся газов и раскаленных паров наводили невольно на мысль, что между спектральными линиями, испускаемыми одним и тем же веществом, есть какая-то связь, т.-е., что эти спектральные линии образуют составленные по какому-то закону ряды или как их принято теперь называть „серии“. Между сериями, сходных между собой в химическом отношении элементов, также была установлена несомненная связь. Однако, дальше эмпирических формул, лишенных какой бы то ни было теоретической базы, дело долго не подвигалось.

Первую эмпирическую формулу, связывающую в одно целое спектральные линии водородного спектра, удалось найти Бальмеру в 1885 году. По Бальмеру длины волн водородных линий λ или числа этих волн, приходящихся на один сантиметр, могут быть выражены следующей формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = \nu_1 = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right) \dots \dots \text{ (Б),}$$

где R —число = 109.677,69 или, так называемая, постоянная Ридберга, а k —ряд целых чисел начиная с трех. Это значит, чтобы вычислить длину волн λ или числа ν_1 , надо по очереди вместо k подставлять 3, 4, 5 и т. д., умножать эти числа самих на себя, составлять дроби $\frac{1}{9}; \frac{1}{16}; \frac{1}{25}$ и т. д., вычитать их из $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ и полученные результаты по множить на число R (постоянную Ридберга).

Насколько эта, сравнительно, простая формула, найденная Бальмером наудачу, хорошо изображает действительно наблюдаемые факты, показывает следующая таблица, в которой приведены вычисленные по формуле Бальмера длины волн и в нижней строке приведены, длины волн, непосредственно измеренные в спектре.

Число k	3	4	5	6	7	8	9
λ вычислена по Бальмеру	6563,07	4861,52	4340,64	4101,90	3970,24	3889,21	3835,54
λ наблюденная	6563,04	4861,49	4340,66	4101,90	3970,25	3889,21	3835,53

Маленькие отступления лежат в пределах неизбежных ошибок. Едва ли найдется другая область точного знания, где бы совпадения вычислений и наблюдений были так близки и где бы наблюдения могли производиться с такой изумительной точностью.

С точки зрения Маха и его последователей на этом наука и оканчивается. В самом деле разве формула Бальмера не представляет собой „экономного описания“ явлений? Да притом еще какого точного. И однако, физики, не исключая и тех, которые в свое время (да, может быть, и теперь) на словах соглашались с Махом, непрерывно делали попытки объяснить формально установленную зависимость между спектральными линиями в спектре водорода, т.-е. с точки зрения Маха погружались в „материалистическую метафизику“. Попытки эти долго не удавались, пока наконец в 1913 году Бору не удалось найти крайне оригинальное решение задачи.

Бор, прежде всего, попытался связать теорию спектральных линий с той картиной строения атома, которая наметилась к тому времени благодаря работам Томсона, Рутерфорда и их сотрудников. Модель водорода по Бору чрезвычайно проста: вокруг центрального положительно заряженного ядра по круговой орбите вращается один отрицательно заряженный электрон. Модель напоминает планету с одним спутником, однако Бор делает следующее предположение: электрон в противоположность спутнику планеты движется не всегда по одной и той же орбите; для него существует целый ряд возможных, устойчивых, круговых орбит. Бор выбирает эти орбиты прямо удивительным образом: он допускает, что для устойчивой орбиты произведение из массы электрона m на скорость его движения по орбите v и на длину самой орбиты, т.-е. на длину окружности $2\pi a$, по которой происходит это „устойчивое“ движение должно равняться целому числу некоторой постоянной величины h , носящей название „постоянной Планка“. Читателя, которому последняя фраза может показаться тарабарской грамотой, можем утешить или встревожить—это конечно зависит от его настроения—что и для специалиста физики совершенно неясно, почему Бор так, а не иначе определил те орбиты, которым он приписал устойчивость. Правда, специалист знает, что упомянутое произведение $mv 2\pi a$ есть т. н. „интеграл действия“, играющий большую роль в теоретической механике, но почему этот интеграл, который, как раньше думали, мог изменяться непрерывно, может принимать для устойчивых форм движения только определенные значения, кратные некоторого числа h , которое поэтому теперь часто называется „элементом“ или „квантом“ действия, пока нам совершенно непонятно. Предположение Бора является весьма смелым, почти фантастическим допущением в том смысле, что мы не можем еще привести его в связь с известными нам законами механики или указать, где и как надо эти законы обобщить или изменить. Надо впрочем оговориться, что в теоретической механике еще недостаточно разработаны вопросы об устойчивых формах движения и не исключена возможность, что начав

углубленные исследования в области механики, начав изучать условия устойчивых форм движения, что еще пока не сделано в должной мере, мы найдем, наконец, связь между механикой и „квантовым условием“ Бора. Как бы то ни было, принимая гипотезу Бора и хорошо нам знакомые законы притяжения электрона положительным ядром, а также основные законы динамики Ньютона, мы очень легко получаем радиусы устойчивых орбит¹⁾). Радиусы эти относятся как квадраты ряда натуральных чисел 1, 2, 3, 4, 5..., т.-е. как числа 1, 4, 9, 16, 25... На прилагаемом чертеже 1 радиусы начертанных кругов взяты как раз в этом отношении.

Далее Бор делает следующее предположение: когда электрон вращается по любой из устойчивых орбит, он не излучает энергии, тогда как по электро-магнитной теории света всякий электрический заряд находящийся в колебательном движении,—а здесь ведь мы имеем случай круговых колебаний,—должен излучать энергию, должен испускать волны видимого света или какой-либо группы невидимых лучей, смотря по частоте колебаний и связанной с этой частотой длиной волны. Вот это и есть то отрешение от наших старых воззрений, которое так сильно отпугивало на первых порах более осторожных ученых от этой новой теории. Надо впрочем отметить, что многие сторонники теории „квант“ действительно немного легкомысленно относятся к этому вопросу. Ведь если, в данном случае, мы встречаемся с противоречием электро-магнитной теории света, оправдавшейся и оправдывающейся в тысячах случаев, то ясно, что надо в этом вопросе разобраться, надо постараться выяснить границы ее приложимости, посмотреть, чем и как ее надо дополнить. Во всяком случае нельзя ограничиваться простым констатированием факта, а такая тенденция — не будем

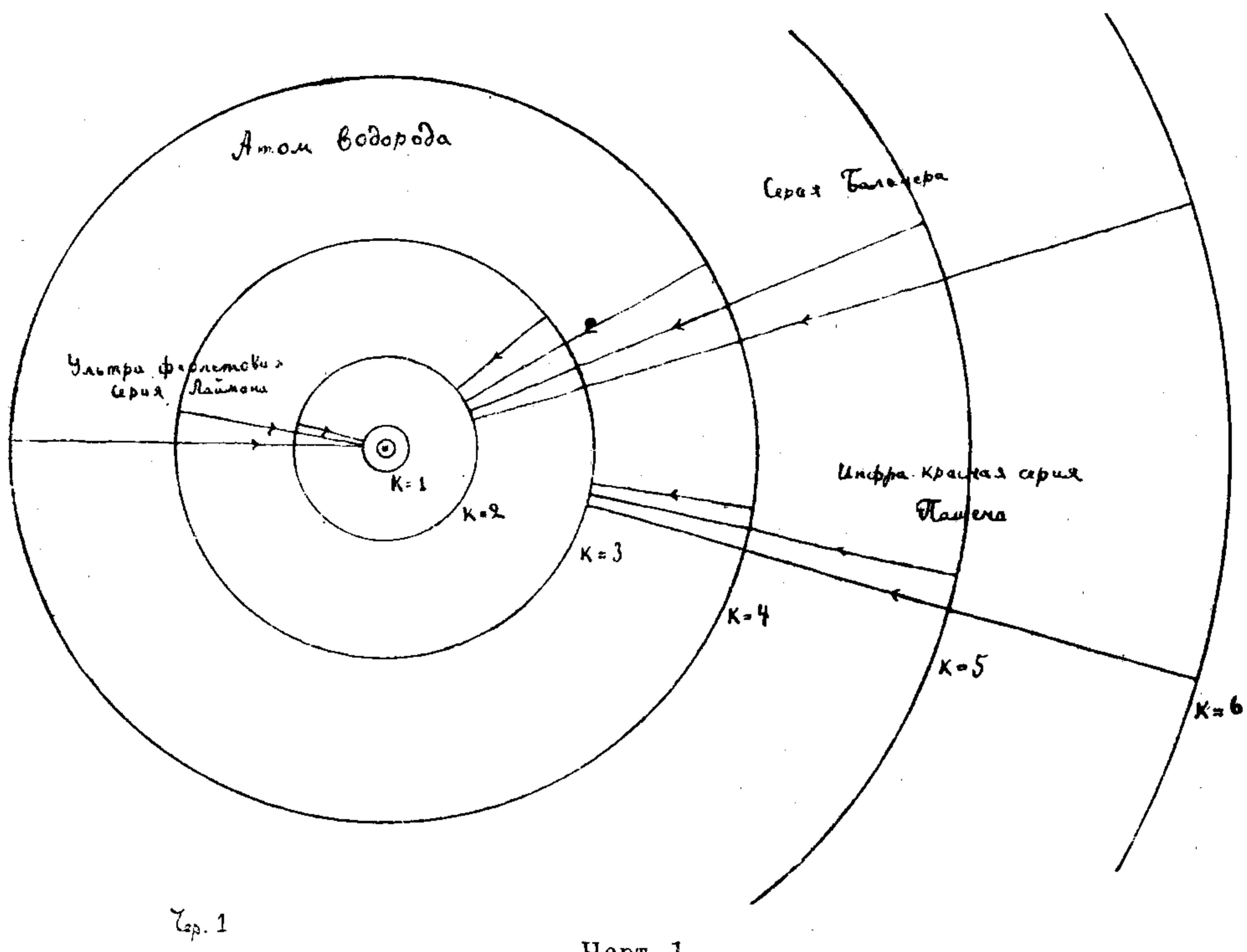
1) Для интересующихся приводим вывод. Если через ω мы обозначим угловую скорость движения электрона, то условие Бора можно переписать так: $2\pi ma^2\omega = kh \dots (1)$, где k — целые числа 1, 2, 3 и т. д., дающие первую орбиту, вторую, третью и т. д. Уравнение движения, т.-е. равенство центробежной и центростремительной силы в данном случае выражается следующим образом: $ma\omega^2 = \frac{e^2}{a^2} \dots (2)$ центробежная сила, по механике Ньютона, равняется массе на радиус круга и на квадрат угловой скорости. Центростремительная сила, в данном случае, есть сила притяжения электрона ядром, которая пропорциональна произведению зарядов (в данном случае по величине равных, но противоположных по знаку — ядро +, электрон —) и обратно пропорциональна квадрату расстояния, отделяющего электрон от ядра.

Второе уравнение дает $ma^3\omega^2 = e^2 \dots (2')$. Подставляя из первого уравнения $\omega = \frac{kh}{2\pi ma^2}$ в (2') находим $ma^3 \cdot \frac{k^2 h^2}{4\pi^2 m^2 a^4} = e^2$ или $a = \frac{k^2 h^2}{4\pi^2 m e^2} \dots (3)$. Т.-е. радиусы последовательных кругов относятся как квадраты чисел k , определяющих порядок орбиты: первую, вторую и т. д.; другими словами радиусы, устойчивых орбит относятся между собой, как числа 1 : 4 : 9 : 16 : 25...

скрывать от себя — среди физиков довольно распространена. На вопрос — когда же получается излучение, когда же собственно та модель, которую мы сейчас разбираем, излучает свет — дает начало тем спектральным линиям, которые так хорошо зарегистрированы формулой Бальмера, Бор дает удивительный ответ: излучение происходит тогда, когда электрон с одной устойчивой орбиты перескакивает на другую! Эту совершенно новую, революционную в теории строения атома и в теории излучения, мысль — мысль исключительно смелую, Бор выражает формально самым обычным уравнением закона сохранения энергии. Проследим ход его мысли. Раз мы, хотя и необычным путем, но все-таки установили радиусы устойчивых орбит и раз мы допускаем, что силы действующие между ядром и электроном, те же самые, какие знал еще Кулон, то этим уже определяется скорость движения электрона, а стало быть и его энергия. Простой подсчет, в детали которого мы входить здесь не можем, показывает, что энергия обратно пропорциональна квадрату числа k , которым мы определяем порядок орбиты (см. чер. 1). Выражение энергии имеет вид, как показывает вычисление $U_k = C - \frac{B}{k^2} \dots (\varrho)$, где C наибольшая энергия, которую может иметь электрон, это будет в том случае, когда он находится очень далеко от ядра атома — теоретически бесконечно далеко. В самом деле, так как электрон притягивается ядром, то когда мы его удаляем от ядра — мы производим работу против силы притяжения; при этом мы сообщаем ему энергию, также точно, как поднимая гирю часов над уровнем пола нашей комнаты мы сообщаем ей энергию и тем большую, чем выше мы ее подняли. Этим запасом энергии мы „ заводим часы“. Чем дальше орбита от центра, тем больше k (см. чер. 1), тем меньше вычитаемое в выражении $(\varrho) - \frac{B}{k^2}$ и тем больше энергия электрона, U_k . Таким образом „сам собой“, т.-е. без заимствования энергии, из какого-либо внешнего источника, электрон может перескакивать только с одной из внешних орбит на какую-либо внутреннюю; обратный переход возможен при затрате энергии извне; например, когда на атом налетает другой атом и выбивает электрон с внутренней орбиты на какую-либо из наружных; или когда волна лучистой энергии идущая извне, подхватит электрон и вытолкнет его из прилежащей к ядру области атома.

Эти процессы поглощения энергии „ заводят машину“ — сообщают ей энергию, которую она может потом растратывать при перескоках электрона с внешних орбит на внутренние.

Так как энергия электрона при переходе от наружных орбит к внутренним уменьшается, то, при этих перескоках электрона на внутренние орбиты должна освобождаться энергия — по Бору это и



Черт. 1.

Черт. 1.

Модель атома водорода по Бору. На чертеже изображены устойчивые орбиты электрона. При перескакивании с орбиты на орбиту электрон излучает лучистую энергию — дает „серии“ спектральных линий. На чертеже указано какие орбиты соответствуют той или другой „серии“. Чтобы составить понятие об истинном размере орбит укажем, что радиус первой орбиты, соответствующей $k=1$, равняется $0,532 \cdot 10^{-8}$ сантиметра т. е. немного больше пяти миллиардных долей сантиметра!

есть лучистая энергия, соответствующая той или другой спектральной линии.

Подсчитаем, как выразится эта излучаемая энергия при перескоке электрона с любой орбиты порядка k на вторую. Для этого из выражения $U_k = C - \frac{B}{k^2}$ надо вычесть такое же выражение, в котором k заменено 2, т.-е. $U_2 = C - \frac{B}{4}$. Разность будет равна $U_k - U_2 = -B \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right)$. Далее Бор делает второе „квантовое“ предположение: вычисленная сейчас разность энергии должна равняться „элементу энергии“, или „кванту энергии“ $h\nu$ где h — та же постоянная, что и в первом условии, а ν — число колебаний, соответствующее той или другой спектральной линии; таким образом, разность энергии, зависящая от того из далекой или близкой орбиты перепрыгнул на данную орбиту электрон, определяет число колебаний, соответствующее данной спектральной линии.

В теории „квант“, следовательно, предполагается, что всякая

лучистая энергия выделяется не сплошным и непрерывным потоком, а порциями или „квантами“, размеры которых зависят от числа колебаний; так, например, частые колебания соответствующие фиолетовым лучам дадут большие кванты $h\nu$ — у них ν большое; в красной же части спектра кванты будут меньше, потому что красные волны длиннее и число колебаний, соответствующее им, будет меньше.

Итак по Бору „второе квантовое условие“ выражается так:

$h\nu = B \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right)$, т.-е. энергия, излученная электроном при перепрыгивании с орбиты порядка k на вторую равняется избытку энергии, которую он имел на своей прежней орбите по сравнению со второй.

По внешней форме написанное только что равенство есть самое скромное уравнение энергии! Если мы всмотримся в это второе квантовое условие Бора, мы увидим, что оно выражается формулой Бальмера. В самом деле, разделив полученное равенство на h мы получаем $\nu = \frac{B}{h} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right)$, а разделив еще на скорость света, т.-е. рассчитав сколько волн укладывается на одном сантиметре (см. выше), мы находим формулу Бальмера $\nu_i = \frac{B}{ch} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right)$, только раньше у нас вместо $\frac{B}{ch}$ стояла постоянная Ридберга R .

Всякий специально физикой не занимавшийся читатель готов уже сказать: „для чего было огород городить!“ Ведь мы пришли к той же самой формуле Бальмера. А сколько тут было гипотез и не прав ли в самом деле Max, когда он говорил, что всякая попытка выяснить механизм явления — праздная фантазия?

Не будем однако торопиться, посмотрим какие преимущества дает нам теория Бора. Прежде всего постоянная Ридберга в теории Бора связывается с целым рядом величин, которые мы можем измерять независимым способом. Из последней формулы, выражающей второе квантовое условие, следует, что если эта формула тождественна с эмпирической формулой Бальмера, то постоянная Ридберга $R = \frac{B}{ch}$, где постоянная B входит в выражение энергии электрона $U_k = C - \frac{B}{k^2}$, и может быть выражена через массу электрона, его заряд и постоянную h . Вычисления показывают, что $R = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3 c}$, где m — масса электрона, e — заряд, h — планковский „квант действия“ и c — скорость света.

Когда в эту формулу были подставлены известные нам величины m , e , h и c , то получилось число 109.000, число поразительно близкое к постоянной Ридберга, найденной эмпирически — 109.677,69. Необходимо ведь помнить, что величина заряда, массы электрона и

кванта действия не могут быть измерены даже с малой долей той точности, какую допускают спектральные измерения, а кроме того величину заряда, а также и кванта действия приходится умножать самих на себя, как показывает только что приведенная формула несколько раз, вследствие чего во столько же раз возрастают и ошибки, допущенные во время измерения. Вот почему лучшего совпадения нельзя было и ожидать.

Результат этого вычисления был первой победой теории Бора, так как утверждение скептика, что совпадение „случайно“ столь же основательно, как утверждение, что несколько сотен букв типографского набора могут случайно сами собой сложиться в какое нибудь стихотворение и при том настоящее — не футуристическое!

Но этот успех теории далеко не единственный. По только что изложенной теории „спектральная серия“ Бальмера получается при перескакивании электрона с любой внешней орбиты на вторую. Раз мы составили себе совершенно определенную картину строения атома водорода (см. рис. 1), то эта картина невольно начинает подсказывать нам и дальнейшие мысли. Мы невольно задаем вопрос: нельзя ли подсчитать какая „серия“ линий получится, если электрон будет перескакивать не на вторую орбиту, а, скажем, на первую или третью? Вот эти мысли, которые нам подсказывает конкретная, придуманная нами модель, и являются могучим орудием дальнейших исследований. Поэтому всякий активно работающий исследователь ценит теории, пользующиеся определенными конкретными моделями гораздо больше, чем „чистые описания“ Маха и его поклонников.

Подсчет показывает, что перескакивание на первую орбиту дает нам серию линий с большей частотой, так как выделяемая энергия будет больше, а следовательно и „кванты“ лучистой энергии должны быть больше; больше будет и частота колебаний.

Мы получаем сходную с Бальмеровской формулу $\nu_1 = R \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{k^2} \right)$ где k целые числа, начиная с 2, а в первом члене в скобках стоит 1 вместо $2^2 = 4$.

Эти линии лежат в ультра-фиолетовой части спектра и все до единой были найдены на тех же местах, как предсказывает теория, Лайманом и Милликаном!

Точно также подсчет перескоков электрона на третью по счету орбиту дает серию линий, лежащих в инфра-красной части спектра, непосредственно глазу невидимой.

И эта серия, выражаемая формулой $\nu_1 = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ была обнаружена на опыте Пашеном с помощью исследования инфра-красной части спектра чувствительными электрическими термометрами-термоэлементами. Объяснить и этот результат „случайным совпадением“ едва ли кто решится.

Можно ли однако распространить теорию Бора на другие атомы? На этом пути возникают громадные трудности вследствие того, что число электронов, кружящихся вокруг центрального ядра, возрастает по мере того как мы переходим к атомам большего атомного веса, чем водород. Но один атом должен быть по своей структуре очень близок к водороду — это так называемый ионизированный атом гелия. У гелия предполагается ядро с двойным положительным зарядом по сравнению с зарядом водородного ядра и вокруг него кружатся два электрона. В целом ряде процессов, например, при столкновении с другими атомами при действии лучей Рентгена, от любого атома, в том числе и от атома гелия, можно отцепить по одному или по несколько электронов. Рассмотрим случай, когда из атома гелия выбит один электрон. Тогда получается полная аналогия водородному атому, только ядро вдвое более сильно заряжено. Так как по теории Бора Ридбергова постоянная R зависит от второй степени заряда электрона и ядра в отдельности, то увеличение вдвое заряда должно повлечь увеличение вчетверо постоянной R , т.-е. мы должны получить формулы вида $\nu_1 = 4R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ для электрона, перескаивающего на третью орбиту и $\nu_1 = 4R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ для электрона, перескаивающего на четвертую орбиту с любой орбиты, начиная с четвертой в первом случае и начиная с пятой во втором.

Если мы во втором из приведенных рядов положим $k = 6$, т.-е. подсчитаем какая частота колебаний должна получиться при перескакивании электрона в ионизованном атоме гелия с шестой орбиты на четвертую, мы получим $\nu_1 = 4R \left(\frac{1}{16} - \frac{1}{36} \right)$ или сокращая дроби на 4, находим $\nu_1 = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$, т.-е получается Бальмеровская линия для водорода, соответствующая перепрыгиванию электрона с третьей орбиты на вторую. Такое же совпадение с Бальмеровскими линиями получится в ряде $\nu_1 = 4R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{k^2} \right)$ для всех орбит, для которых k^2 делится на 4, т.-е. для шестой, восьмой, десятой и т. д.

Усовершенствованные методы спектральных исследований показали, однако, что полного совпадения не получается. В следующей таблице приведены длины волн для ионизированного гелия, а рядом в столбце указаны водородные линии. Эта таблица взята из работы Ф. Пашева (Annalen d. Physik 1916, Т. 50, р. 901).

Получается вывод, что Ридбергова постоянная R не совсем одна и та же для гелия и водорода, а между тем по теории Бора она должна совпадать. Таким образом более тщательные измерения приводят как будто к опровержению теории Бора.

к	Ионизованный Гелий He +	Водород H.
6	6560,1	6562,8
7	5411,6	—
8	4859,3	4861,3
9	4561,6	—
10	4338,7	4340,5
11	4199,9	—
12	4100,0	4101,7

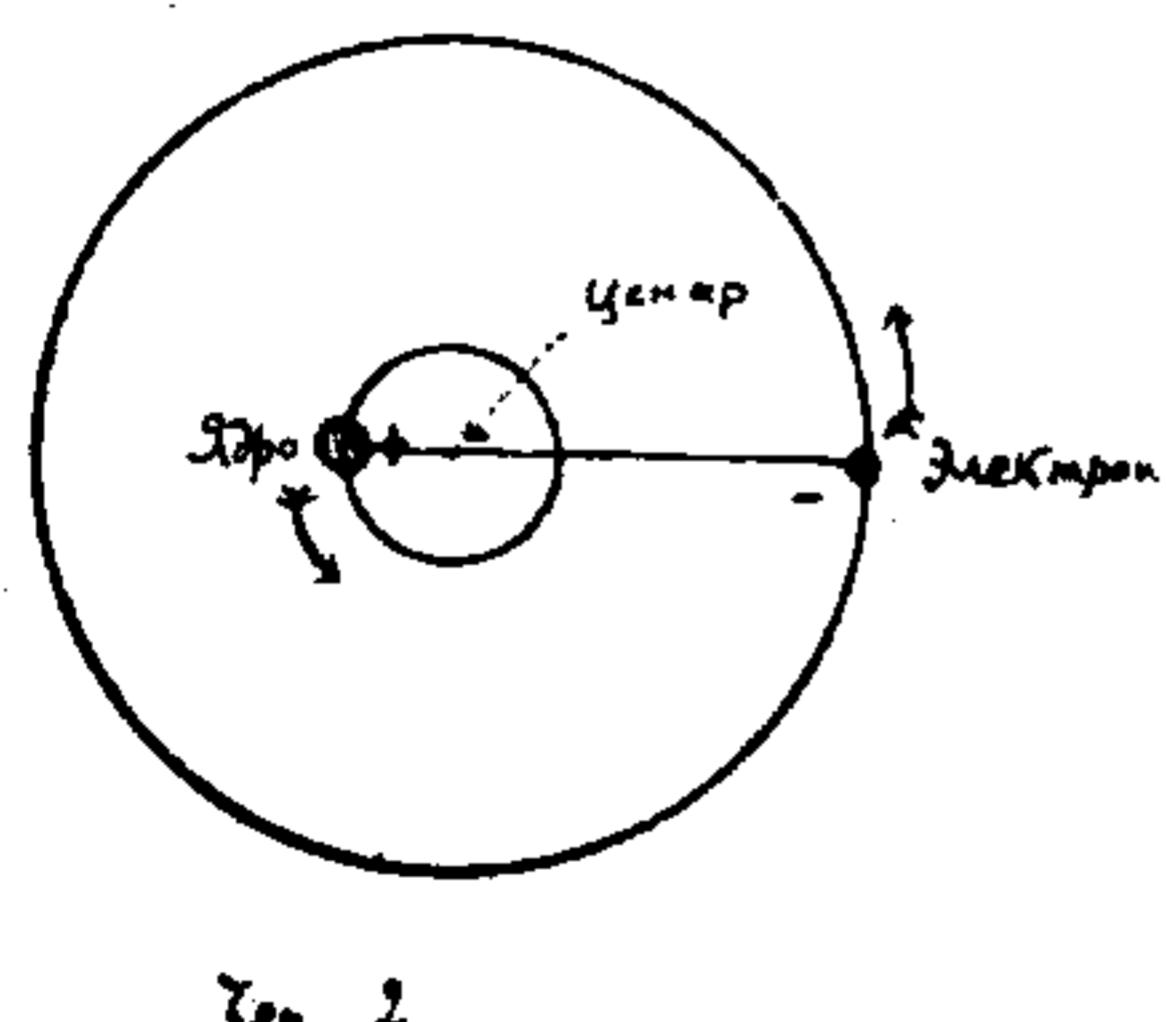
История разрешения этого противоречия и вместе с тем новая победа теории Бора являются блестящим примеромialectического процесса. Еще задолго до работ Бора было установлено, что постоянная Ридберга, входящая в формулу Бальмера, входит также и в эмпирические формулы, установленные для спектральных серий, относящихся к целому ряду химических элементов,—теория Бора объясняет это совпадение, а более тщательные изменения опровергают это объяснение! Тезис переходит в антитезис. В чем же будет состоять синтез? Бор обратил внимание, что его модель, рассмотренная сейчас нами не удовлетворяет основам Ньютона механики. Действительно мы ведь предполагали, что электрон вертится вокруг ядра; по Ньютону такое движение невозможно, по Ньютону и ядро и электрон должны вертеться вокруг общего центра тяжести; также как нельзя утверждать, что луна ходит вокруг земли: в действительности и луна и земля врачаются вокруг общего центра тяжести, который лежит гораздо ближе к земле, чем к луне, так как масса земли больше массы луны. Для электрона и ядра неравенство масс еще более резко выражено,

чем в случае земли и ее спутника. На черт. 2 изображено схематически движение электрона и ядра по Ньютону.

Если повторить все вычисления с этой поправкой, то прежнюю Ридбергову постоянную

приходится заменить выражением $R_1 = \frac{R}{1 + \frac{m}{m_1}}$

где R—прежняя Ридбергова постоянная, m—масса электрона, а m_1 —масса ядра атома. Для гелия отношение $\frac{m}{m_1}$ должно быть в четыре раза меньше, чем для водорода, так как атомный вес гелия в четыре раза больше атомного веса во-



Черт. 2.

дорода. Таким образом постоянная R^1 должна быть немного больше для гелия, чем для водорода, и действительно из опытов Пашена мы получаем для гелия $R_{\text{не}}^1 = 109722, 144 \pm 0,04$ (\pm относится к вероятной ошибке в измерениях Пашена) и для водорода $R_{\text{и}}^1 = 109677,691 \pm 0,06$.

Синтез, следовательно, в рассматриваемомialectическом процессе заключается в том, что более детальная теория как раз и должна отрицать тожество постоянной Ридберга для всех спектральных серий, принадлежащих различным элементам. Весьма характерно, что и в усовершенствованную теорию входит старая постоянная Ридберга и притом она сохраняет свое значение во всех случаях. Таким образом первоначальное утверждение, основанное на менее точных наблюдениях и на упрощенной теории, в известном, более ограниченном смысле, сохраняется. Если бы этого не было, то было бы невозможно вообще никакое познание природы. Каждый новый шаг в науке дополняет, изменяет и развивает предшествующие достижения, но он никогда, если можно так выразиться, их начисто не отменяет; иначе ведь невозможно было бы никакое развитие науки; мы все время топтались бы на месте. Приведенный пример обобщения теории Бора поучителен между прочим в том отношении, что он нас предостерегает от презрительно-легкомысленного отношения к Ньютоновой механике, что в последнее время стало даже как будто признаком хорошего тона. Конечно, не следует основным положениям Ньютона придавать абсолютно незыблемый метафизический характер; быть может дальнейшее развитие той же теории квант покажет, где и как придется обобщить или дополнить Ньютонову механику. Но это нисколько не мешает применять ее и притом, как мы сейчас видели, с громадным успехом для разрешения многих и многих вопросов и противоречий, с которыми мы сталкиваемся при решении текущих задач современной физики.

Если мы сравним между собой только что приведенные постоянные R^1 для водорода и для гелия, то из этих данных можно подсчитать во сколько раз атом водорода тяжелее электрона. Получается

число $\frac{m_1}{m} = 1847$, т.-е. получается то же самое число, которое получалось совершенно другим способом из опытов с, так наз., „катодными лучами“.

Это новое подтверждение является новым громадным успехом теории Бора. Скептикам, утверждающим, что все это случайные, удачные совпадения, можно ответить, подражая фельдмаршалу Суворову: „удача, удача — помилуй бог, когда нибудь ведь, наконец, и умение!“

Дальнейший шаг в развитии теории был сделан Зоммерфельдом;

он сделал предположение, что, также как и в движениях планет, в движениях электрона в атомной системе могут быть не только круговые орбиты, но и орбиты эллиптические.

Эти орбиты вычисляются по обобщенным „квантовым“ правилам Бора и в значительной части дают мало нового: при перескоках электрона с эллиптических орбит на круговые или наоборот, количества выделяемой энергии, как правило, оказываются те же самые, что и для соответствующих им круговых орбит. Но некоторые из эллиптических орбит оказываются сильно вытянутыми, и кроме того одной своей частью они близко подходят к ядру, как это видно, например, на схематическом черт. 3. В этих частях движение электрона сильно ускоряется, также как это происходит и для планетных движений; а при больших скоростях возрастает масса электрона¹⁾. Отсюда вытекает следствие, что выражение энергии для этих орбит будет, хотя и очень мало, отличаться от выражения энергии для круговой орбиты соответствующей данному эллипсу. Поэтому, при перескакивании электрона с такой эллиптической орбиты на какую-нибудь круговую, будет освобождаться несколько иное количество энергии, чем при перескакивании с круговой на круговую, а это должно сказаться в изменении числа колебаний испускаемого света. Таким образом, хотя большинство вычисленных Зоммерфельдом эллиптических орбит и не вносит ничего нового, так как каждой эллиптической орбите соответствует какая-либо круговая с одинаковой энергией движущегося по ней электрона; но в тех случаях, когда эллипс оказывается сильно вытянутым, вследствие изменения массы от увеличившейся при прохождении вблизи ядра скорости электрона, получается небольшое различие. Это приводит к тому, что некоторые из линий водорода должны представлять собой группу линий для значительной части наших спектроскопов, сливающихся в одну. В 1916 году эта теоретически предсказанная Зоммерфельдом сложная структура спектральных линий водорода была подтверждена измерениями Ф. Пашена, воспользовавшегося самыми сильными спектроскопическими приборами и являющимся едва ли не самым искусственным спектроскопистом на всем земном шаре.

Из приведенных данных видно, что водородный спектр и спектр

¹⁾ Об изменении массы со скоростью см. А. Тимирязев „Оправдывает ли современная электрическая теория материи материализм?“ „Под Знаменем Марксизма“ 1922, № 4,

В связи с излагаемой работой Зоммерфельда часто приходится слышать, что в этом случае получено блестящее оправдание принципа относительности. С этим едва ли можно согласиться, так как зависимость между массой и скоростью, вытекающая из принципа Эйнштейна, получается и другими способами. Таким образом правильнее было бы сказать, что приводимые здесь факты не противоречат теории Эйнштейна.

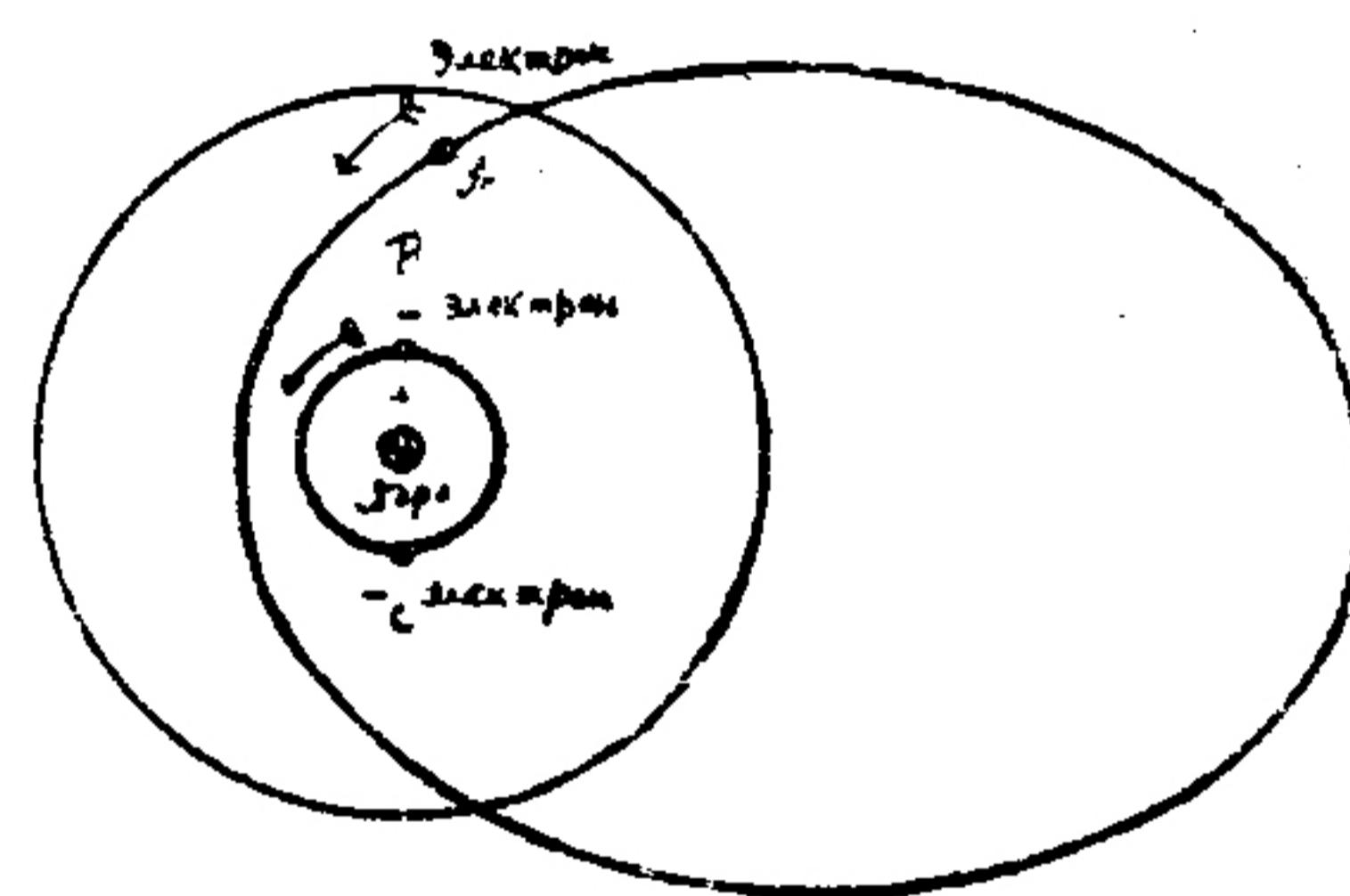
ионизованного гелия изучены сейчас во всех подробностях и что многие из этих деталей были выведены теоретически, прежде чем их увидел человеческий глаз. И вот теперь уместно снова поставить вопрос, могли ли бы мы узнать все это пользуясь методом „описания“, как этого требует Max? Можно ли было бы предсказывать факты, не изучая движений электронов? А ведь, по Maxу, изучение электронов равносильно изучению „шабаша ведьм“!

В связи с изложенной теорией Бора необходимо указать на замечательные работы проф. Д. С. Рождественского, указавшего путь, по которому можно распространить теорию Бора и Зоммерфельда на другие элементы с более сложным образом построенными атомами.

Разбираясь в целом лесе эмпирических формул, выражавших спектральные серии щелочных металлов: лития, натрия, калия и цезия, у которых, по целому ряду соображений, должно быть по несколько орбит с движущимся по ним значительным числом электронов (при чем у всех этих элементов на наружной орбите должен быть, также как и у водорода, только один электрон), Рождественскому удалось установить соответствие между спектральными линиями этих элементов и водородом: число спектральных линий оказалось во всех случаях одинаковым. Это навело Рождественского на мысль, которая иллюстрирована на черт. 3. Орбиты наружного электрона, как круговые, так и эллиптические, построены по тем же законам, как и водородные. Различие состоит в том, что в центре атома мы имеем не одно ядро, а ядро, окруженное кольцами, по которым движутся электроны — и для этих электронов можно рассчитать, по Бору, большое число устойчивых орбит, но этого мы пока касаться не будем. На черт. 3 мы имеем одно кольцо с двумя электронами, это как раз имеет место в атоме лития, детально изученном Д. С. Рождественским.

Из чертежа ясно, что когда наружный электрон А проходит мимо кольца BC, то электроны В и С должны „возмущать“ своими отталкивательными силами движение электрона А, наподобие того, как пути малых планет „возмущаются“ планетой Юпитер. Таким образом, спектр любого щелочного металла можно представить себе как спектр водорода, более или менее искаженный возмущениями внутри лежащих электронов; при этом, конечно, степень „искажения“ определяется близостью данной орбиты к внутренним кольцам, по которым движутся электроны, а также числом и размерами этих колец и числом находящихся на них электронов.

Приводим ряд чисел, взятых из работы Рождественского, с по-



Черт. 3

мощью которых вычисляются величины энергии электрона на орбитах различных порядков, и которыми можно охарактеризовать эти орбиты. В следующей таблице сопоставлены данные для натрия и для водорода.

Порядок орбиты к	9	8	7	6	5	4	3	2
Орбиты водорода	135	171	224	305	439	685	1219	2742
Орбиты натрия	131	165	215	301	415	640	1118	2479

Очевидно, что более далекие от ядра орбиты—орбиты более высоких порядков „возмущаются“ или „искажаются“ в меньшей степени, чем те, которые или всеми своими частями или отчасти—if это орбиты вытянутые—лежат вблизи ядра и окружающих его внутренних колец с движущимися по ним электронами. Таким образом уже намечен путь к изучению спектров атомов, построенных более сложно, чем водород.

Попытаемся однако вникнуть к чему собственно сводится по этой новой теории процесс излучения, в тех именно случаях, когда спектр состоит из ряда отдельных полос или линий? Для того, чтобы испускать свет, атом должен накопить энергию—эта энергия черпается извне или из той энергии поступательного движения, которой атом обладает и которая при столкновении с другим атомом передается его наружному электрону.

Участвующий в этом процессе электрон переводится на все более и более удаленную от ядра орбиту. На этой орбите электрон кружится и не излучает, почему—пока это еще нам неясно, далее, в результате более или менее длительного процесса, нам пока еще также неизвестного, создаются условия, при которых наступает скачок, и электрон, выделяя, как при взрыве определенного количества взрывчатого вещества, определенное количество лучистой энергии в виде вереницы волн, перелетает на другую, при данных условиях более устойчивую орбиту, более близкую к ядру атома. По опытам В. Вина, длина вереницы эфирных волн, соответствующей одному кванту энергии, все равно каково бы ни было число колебаний, вызывающее эти волны, приблизительно равна 10. метрам. То, что мы наблюдаем глазом или при помощи спектроскопа—это как раз „скакки“ или взрывы: их собственно мы и рассчитываем по методам, предложенными Бором. В теории спектральных линий, следовательно, мы имеем прекрасный пример, как непрерыв-

ное развитие приводит к скачкам, но ввиду того, что мы еще не вооружены пока такими средствами, которые позволили бы нам видеть весь атом как у себя на ладони, для нас еще неясно, что собственно происходит в промежутке между этими скачками или взрывами. Наши средства наблюдения настолько еще грубы, что мы в атомном мире можем заметить одни только „революции“, подготовка же к ним пока еще ускользает от наших глаз.

В нашем очерке теории спектральных линий мы могли коснуться только части вопроса; в настоящее время физики располагают богатейшими данными в области так наз. рентгеновских спектров. Различные химические элементы, подвергаемые бомбардировке электронов в так наз. „катодных лучах“, т.-е. потоках быстро движущихся электронов, дают начало лучам Рентгена и притом, наряду со спектром сплошным—непрерывным, получаются сложные системы спектральных линий. Длина волн соответствующих этим линиям во много раз короче лучей видимого спектра и ультра-фиолетовых. Законы распределения этих линий в спектре объясняются совершенно таким же способом, как и водородный спектр в модели Бора. Только перескакивания электронов происходят на орбитах, расположенных вблизи самого ядра; в этих процессах играют роль электроны, кружящиеся по внутренним, более близким к ядру орбитам — близким по сравнению с теми, по которым движутся электроны, дающие видимый глазу свет.

Переходим теперь к другой группе явлений, к так наз. фотоподобному или актино-электрическому явлению¹⁾. Явление состоит в следующем: Если осветить хорошо вычищенную пластинку какого-либо металла²⁾ лучами света — особенно сильно действуют в этом случае лучи фиолетовые и ультра-фиолетовые — то металл заряжается положительным электричеством. Объясняется это тем, что с поверхности металла под действием света выделяются электроны. В атомах металлов некоторые электроны легко отделяются от атома и свободно двигаются в промежутках между атомами, чем и объясняется большая электропроводность металлов. Исследования показали, что скорость, с которой электрон вылетает с поверхности металла, зависит от числа колебаний того света, при помощи которого получается самый эффект, и совершенно не зависит от напряжения или силы света, т.-е. от энергии падающих лучей. Чем число колебаний больше, тем больше скорость и, следовательно, энергия вылетающего электрона. От напряжения света зависит только число испу-

¹⁾ Основные законы этого явления, а также методы исследования были установлены в Москве покойным проф. А. Г. Столетовым в девяностых годах XIX столетия.

²⁾ Для демонстрационных целей особенно удобно пользоваться цинком.

свободных электронов. Закон, связывающий скорость электрона с числом колебаний луча, был установлен Эйнштейном на основании теоретических соображений, от которых он потом сам отказался; но закон этот оправдался на опыте с замечательной точностью. Выразить этот закон можно следующей формулой:

$$hv = A + \frac{mv^2}{2} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3)$$

здесь мы имеем дело с тем же „квантом энергии“ hv , который сообщается электрону волнами лучистой энергии частоты v . Эта энергия превращается в кинетическую энергию электрона, вылетевшего с поверхности металла $\frac{mv^2}{2}$ (m —масса, v —скорость электрона), при чем часть энергии, доставленной лучом, затрачивается на работу A , которую надо произвести, чтобы извлечь электрон из металла. Кинетическую энергию мы измеряем по скорости вылетающих электронов методом, который был разработан Дж. Дж. Томсоном еще в 1896 году. Масса электрона нам известна, а „квант“ hv определяется тем светом, при помощи которого мы производим опыт.

Получается очень наглядная картина. Чтобы вызвать выделение электрона—новое качество, требуется, чтобы в атоме накопилась энергия до некоторого количества hv . Самый процесс имеет характер взрыва: с металлической поверхности вылетает снаряд—электрон, движущийся с громадной скоростью.

Если мы возьмем меньшую частоту колебаний, т.-е. возьмем луч ближе к красному концу спектра—это будут волны с меньшей частотой v —, то у нас может оказаться, что этого небольшого кванта будет недостаточно, чтобы извлечь электрон из данного металла: условие $hv^1 = A$ определяет для данного металла границу в спектре со стороны длинных волн, за которой прекращается всякое актино-электрическое действие. Граница эта очень хорошо наблюдается на опыте: она чрезвычайно резко выражена. Далее общее количество падающей энергии определяет собой число „квант“ или порций, а следовательно число освобождаемых электронов, но так как для каждого электрона требуется определенное количество энергии: именно один квант, то каково бы ни было наличное количество энергии, электрон выделится только тогда, когда в соответствующем атоме наберется требуемое количество энергии hv .

Эти исследования были с замечательным искусством выполнены в Америке Р. Милликаном в 1918 году. Одно из главных затруднений состоит в необходимости тщательно чистить поверхности металлов. Для этой цели Милликан в том самом приборе, в котором производились опыты и из которого выкачивался воздух самыми лучшими

из имеющихся сейчас насосами, помещал вспомогательный прибор, обтачивавший в безвоздушном пространстве металлические поверхности. Милликан в шутку называет этот прибор, находящийся в запаянном стеклянном сосуде и приводимый в движение вращающимся снаружи электромагнитом: вакуум—токарный станок!

В последнее время описанный метод был применен с большим успехом к извлечению электронов из более глубоких частей атома. Для этого приходится освещать металлические поверхности лучами более короткой длины волны—лучами Рентгена. Для них частота ν больше, а следовательно больше и „квант“ энергии, и его хватает чтобы вывести электрон из какой-либо внутренней орбиты, т.-е. из той области атома, которая сама дает рентгеновский спектр.

Различие с фотоэлектрическим эффектом для видимого света заключается в том, что там энергия, потребная для выделения электрона A , была одна и та же—это были электроны легко отщепляющиеся от атома или электроны свободные; здесь же энергия A_k зависит от того, с какой орбиты данный „квант“ выбивает электрон. Поэтому кванты одного и того же размера $h\nu = A_k + \frac{mv^2}{2}$ могут дать электроны с различными скоростями, смотря по тому, откуда они их выбили.

Таким образом освещая металл лучами Рентгена одной и той же частоты ν , т.-е. посыпая одни и те же „кванты“ $h\nu$, мы получаем несколько потоков электронов с различными скоростями, измеряя которые мы можем определить A_k , энергию потребную, чтобы удалить электрон с той или другой орбиты порядка k . Этот прием, разработанный Видингтоном и Де-Брольи, и позволяющий независимо от спектральных исследований, по одним только скоростям электронов определять энергию электронов на орбитах внутри атомов, вызвал большой восторг на съезде Британской ассоциации осенью 1922 г.

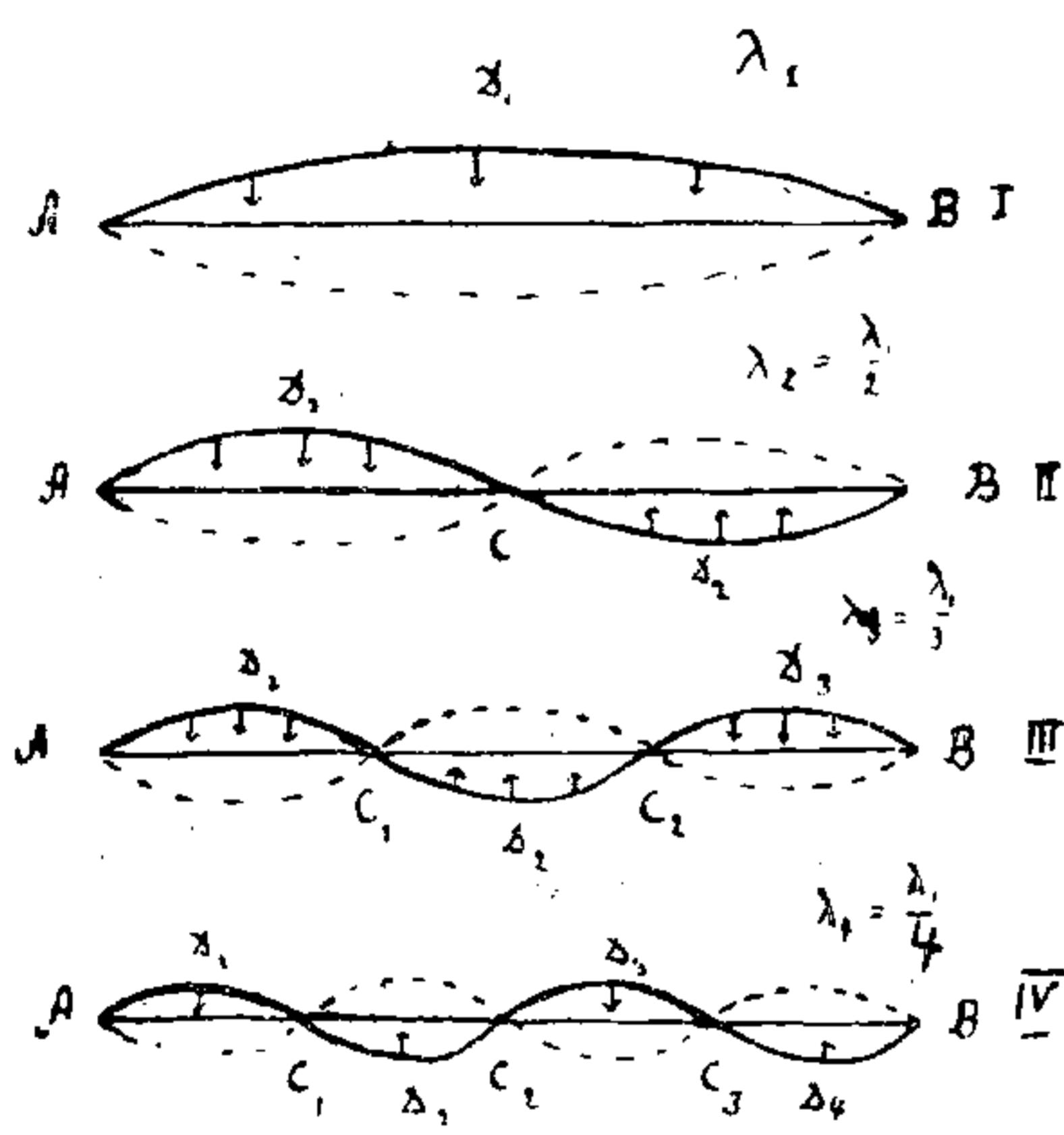
Этими последними работами, как мы видим, устанавливается связь между актино-электрическим эффектом и теорией спектральных линий как самого Бора, так и теорией рентгеновского излучения, являющейся распространением—развитием теории Бора.

Рассмотрим теперь, как Макс Планк впервые пришел к выводу, что поток энергии, идущий от раскаленного тела, дающего непрерывный спектр, состоит из „квант“, а не представляет из себя сплошного и непрерывного потока.

Представим себе ряд упругих шаров, находящихся в закрытом ящике, который встремывают по всем направлениям. В тех хаотических движениях шаров с их столкновениями как друг с другом, так и со стенками ящика мы будем замечать одну закономерность:

в среднем энергия поступательного движения будет для всех шаров одинаковая.

Этот результат лежит в основе многих выводов кинетической теории материи и был много раз проверен на опыте. Однако это положение, носящее название принципа равномерного распределения энергии, пытались возвести в какой-то непреложный догмат; между тем всякий диалектически мыслящий исследователь всегда должен иметь в виду, что любой установленный наукой вывод имеет свои границы приложимости, за пределами которых мы вынуждены будем вносить целый ряд поправок. Вот к такой-то границе подошел Макс Планк в 1900 году, когда он попытался применить этот закон к распределению лучистой энергии в непрерывном спектре.



Черт. 4.

Представим себе струну, натянуту между двумя гвоздями А В (см. чер. 4). Если мы приведем ее в колебательное движение, то может получиться один из типов движения, изображенный на рис. 4, или может получиться сложное движение, состоящее из наложения всех типов движения, изображенных на рис. 4 и им подобных.

Движения, изображенные на чер. 4, можно легко наблюдать на веревке, если привязать один конец ее к гвоздю, а другой раскачивать рукой. Тогда в зависимости от частоты колебания руки у нас появятся короткие или длинные „стоячие“ волны с неподвижными точками с; с₁, с₂; с₁, с₂, с₃ — узлами. Ясно, что на струне могут быть движения с такими длинами волн, у которых на протяжении струны укладывается целое число полуволн. (На чер. 4 в случае I одна полуволна, в случае II — две и т. д.).

Если мы пойдем в сторону более коротких волн, то мы все чаще и чаще будем встречаться с возможными на данной струне типами колебаний. В самом деле, от длины волны λ_1 до $\frac{\lambda_1}{2} = \lambda_2$ нет такой волны, которая могла бы существовать на данной струне. Промежуток от λ_2 до λ_3 будет уже меньше, от λ_3 до λ_4 еще меньше и т. д.

Если мы ко всем этим типам волнообразных движений применим закон равномерного распределения энергии, то на короткие волны придется больше энергии, так как вообще установившихся движений с короткими волнами будет больше, чем с длинными.

Распространяя этот вывод на источник света, испускающий волны всевозможной длины, т.-е. дающий непрерывный спектр, мы

приходим к выводу, что энергия в спектре возрастает непрерывно к ультра-фиолетовому концу спектра и дальше. А, между тем, опыт показывает, что энергия в спектре по направлению к коротким волнам возрастает, достигает максимума¹⁾ и потом спадает.

Из этого противоречия Планк вышел следующим образом: на каждый тип колебаний в зависимости от их частоты приходятся разные „кванты“ энергии и притом такие же, какие мы рассматриваем в теории Бора, т.-е. $h\nu$. Для того, чтобы в данном источнике волн могли появиться короткие волны, должно накопиться в нем относительно больше энергии, а это будет случаться реже. Таким образом, хотя число возможных типов движения с короткими волнами и больше, чем с длинными, но возникать короткие волны будут реже, так как для этого требуется большее скопление энергии. Рассуждая таким образом, Планк получил закон распределения энергии в спектре²⁾, удивительно хорошо совпадающий с опытом!

Весьма интересно, что для длинных инфра-красных волн можно применять принцип равномерного распределения энергии без поправки Планка. Для длинных волн число колебаний будет мало, а следовательно, и „кванты“ будут маленькие, а следовательно, практически не будет различия между непрерывным распределением и распределением по „квантам“. Здесь количество переходит в качество: для длинных волн энергия распределяется непрерывно, для коротких — необходимо считаться с „квантами“ энергий.

В 1905 году Эйнштейн тем же путем устранил противоречие, с которым долго не могли справиться физики в учении о тепле; ему удалось объяснить отступления от так называемого закона или правила Дюлонга и Пти. По этому правилу, если взять вещества в количествах, пропорциональных их атомным весам, т.-е. брать одинаковые числа атомов, то количества тепла, необходимые, чтобы нагреть их на одно и то же число градусов, будут одинаковы. Это показывает, что энергия распределяется равномерно между атомами независимо от их массы и на любой атом приходится в среднем одинаковое количество энергии. От этого правила, однако, наблюдаются значительные отступления, изменяющиеся притом в зависимости от температуры, чего теория совершенно не предусматривала. Какой же выход нашел

¹⁾ Положение максимума определяется температурой источника лучистой энергии: по мере повышения температуры максимум перемещается к фиолетовому концу спектра.

²⁾ Закон Планка приложим, строго говоря, к излучению т. наз. „абсолютно черного“ тела, практически же этот закон приложим к изучению, выходящему из маленького отверстия в металлическом ящике, равномерно нагреваемом со всех сторон. Чтобы непосредственно от наружной стороны стенок не было излучения, перед ящиком ставится ряд экранов, имеющих отверстия, против отверстия в самом нагреваемом ящике.

Эйнштейн? Так как закон Дюлонга и Пти относится к твердому состоянию, а в твердом теле атомы могут только колебаться вокруг их положения равновесия—поступательно они двигаться не могут, то естественно является мысль, не будет ли энергия и здесь распределяться „квантами“ пропорционально числам колебаний атомов вокруг положения равновесия. Но эти же числа колебаний определяют собой и спектр поглощения данного твердого тела. Из всех падающих на данное тело волн раскачивать атомы будут только те, частота которых совпадает с частотой колебаний самих атомов, но при этом раскачивании будет тратиться энергия волны,—волны будут поглощаться. Таким образом была разработана теория, блестяще оправдывающаяся на многочисленных опытах и связавшая между собой отступления от закона Дюлонга и Пти, спектры поглощения, упругие свойства тел и температуру их плавления. Почти что одним росчерком пера были объединены в стройное целое самые разнообразные факты, на первый взгляд не имевшие ничего общего между собой. Как раз в этой области и лежали противоречия, которые Кельвин и назвал „второй тучей“.

Подведем итог. Даже из настоящего, весьма неполного очерка ясно, что теория „квант“ оказалась необыкновенно плодотворной. Эта теория стала сразу на положение необходимого для физика-теоретика орудия труда. Не будем скрывать от себя, что многое в этой теории для нас еще неясно; но было бы ошибочно думать, что эта новая теория упраздняет всю старую физику, как это любят говорить не в меру усердные популяризаторы. Мы ведь видели, что наряду с новыми положениями этой действительно революционной теории нам в равной мере необходимы и механика Ньютона и классическое учение об электромагнитных процессах. Таким образом вся задача сводится к тому, чтобы связать новое со старым, нам надо выяснить пределы приложимости классической механики и электродинамики и выяснить те общие законы которые должны их объединить и дополнить, так как ясно, что „кванты“ вносят что-то свое, новое. Руководствуясь диалектическим методом, мы сразу можем сказать, чего нам еще не хватает: если громадное число фактов заставило даже самых осторожных мыслителей из буржуазного мира отказаться от предрассудка, что „природа не делает скачков“ и утверждать „что природа делает скачки и притом весьма странного сорта“¹⁾, то в мире атомов нам еще неизвестны те непрерывные процессы, те процессы подготовки, которые приводят к наблюдаемым уже нами скачкам, а в диалектическом процессе всякий скачок предполагает предшествующее непрерывное развитие.

А. Тимирязев.

¹⁾ М. Планк. „Новые пути физического познания“. „Под знаменем марксизма“, № 1, 1923 год, стр. 76.