
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. И. КАЛИНИНА

На правах рукописи.

Т. А. ЛЕБЕДЕВ

О НЕКОТОРЫХ ДИСКУССИОННЫХ
ВОПРОСАХ СОВРЕМЕННОЙ
ФИЗИКИ

(Расширенные тезисы докладов)

2

1 9 5 5

Т. А. ЛЕБЕДЕВ

О НЕКОТОРЫХ ДИСКУССИОННЫХ
ВОПРОСАХ СОВРЕМЕННОЙ
ФИЗИКИ

(Расширенные тезисы докладов)

2

Редактор *В. С. Смирнов.*

Подписано к печати 24-Х 1955 г.

М 51142

Печ. листов 4 + 1 вклейка.

Заказ 828

Тираж 400

Лаборатория полиграфических машин Ленинградского Политехнического
института им. М. И. Калинина.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
От редактора	4
1. Постановка вопроса	5
2. В чем заключается физический смысл гипотезы де Бройля?	9
3. О соотношения между массой и скоростью частицы	11
4. О мировой среде («эфире»)	15
5. О физической сущности света	21
6. О некоторых случаях поведения света	23
7. О явлении фотоэффекта	24
8. О туннельном эффекте	26
9. Доказывает ли дифракция электронов существование «частицы-волны»?	29
10. О соотношении неопределенностей	38
11. Является ли понятие «кванта энергии» спецификой микромира?	42
12. Расшифровка некоторых квантовых зависимостей и констант	48
13. О расчете атома водорода	52
14. Заключение	61

ОТ РЕДАКТОРА

Дирекция ЛПИ имени М. И. Калинина решила удовлетворить просьбу проф. Т. А. Лебедева о более широком изложении его взглядов, чем это было сделано в первом докладе, и вторично обращает внимание читателей на то, что положения, развиваемые проф. Т. А. Лебедевым, являются его личными взглядами и подлежат самому тщательному критическому разбору.

1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

В настоящее время каждому ясны огромные успехи современной физики. Еще недавно такие, например, вопросы, как учение об элементарных частицах, об изотопах, о расщеплении атомных ядер и пр. считались вопросами «чистой науки», но уже сейчас эти открытия сделались и делаются достоянием широкой техники.

На фоне столь выдающихся и весьма перспективных достижений физики было бы странным слышать, что *теоретическая* основа этой науки в настоящее время подвергается сомнениям.

Однако это является фактом, который все более настойчиво проявляет себя в последние годы. Приведем по данному вопросу высказывания некоторых физиков: «Надо признать, что все здание квантовой теории электромагнитного поля находится ныне под сомнением...» (P. Dirac, Naturwiss. Rundschau, Nov., 1953, S. 441).

«Если говорить откровенно,— то мы достигли мертвой точки... Требуется совсем новые идеи и новый математический аппарат» (L. Brillouin, American Scientist., Okt., 1949, p. 554).

«Во всех областях квантовой теории возникли сейчас непреодолимые трудности, с которыми бессилён справиться математический аппарат этой теории» (Pensée, № 51, 1953, p. 95).

«Квантовая теория нуждается в глубоком пересмотре лежащих в ее основе принципов» (Я. П. Терлецкий, сборник статей «Вопросы причинности в квантовой механике», 1955, стр. 7).

Создатель волновой механики де Бройль выступает против «тиранического влияния некоторых концепций» в современной физике и считает, что «познавательные возможности волновой механики в том виде, в каком она сейчас преподается, в решающей степени исчерпаны» и т. д. и т. п.

Конечно, никто не ожидает, что та или иная отрасль научных знаний может оказаться полностью раскрытой и освоенной. Путь научных изысканий бесконечен, и люди науки всегда будут стоять перед не решенными еще задачами. Но труд-

ности, возникшие в современной теоретической физике, не являются трудностями обычного роста данной отрасли знаний. Дело как будто бы касается «лежащих в ее основе принципов», т. е., другими словами, вопрос заключается не в дополнении и не в развитии уже существующих положений, а, по-видимому, в их пересмотре. В этом и заключается своеобразное состояние современной физики, как науки: с одной стороны, блестящие экспериментально-научные достижения, с другой стороны, неувязка в самих теоретических основах этой науки, крайняя ответственность ее принципиальных понятий и представлений.

Почему это произошло? Это произошло потому, что некоторые особенности явлений микромира были в свое время восприняты как абсолютно новые качества, ничем и никак не связанные с другими явлениями природы. Те неизбежные отличия, которые, безусловно, должны существовать между микро- и макроявлениями, эти отличия приобрели в умах исследователей абсолютный характер, связь между явлениями микро- и макромиров стала утрачиваться, проведение научных аналогий стало казаться неправомерным и вульгарным намерением. Однако новые понятия и представления, возникшие у исследователей при изучении микроявлений, естественно, не могли нарушить и отменить тех всеобщих связей между явлениями природы, которые в ней существуют. Эти связи все время заявляли о своем присутствии, но, к сожалению, они не были восприняты в их полном физическом содержании, а были облечены в некий математический «принцип соответствия», который, по существу, провозгласил тождественность между микро- и макроявлениями.

Таким образом, от одной крайности (абсолютное различие между микро- и макроявлениями) в физике, с принятием математического принципа соответствия, фактически перешли к другой крайности, так как в своей основе перестали качественно различать микро- и макроявления, поскольку получалось, что все эти явления должны удовлетворять одним и тем же соотношениям (формулам)¹.

Итак, по современным понятиям в макромире в принципе все происходит так же, как и в микромире, но в макроявле-

¹ Вопрос о действительной сущности «принципа соответствия» подлежит более детальному обсуждению. Он мог бы принести максимальную пользу, если бы под ним подразумевалась диалектическая связь (соответствие) между явлениями природы, т. е. возможность перехода количественных соотношений в качественные (см. наш первый доклад «О некоторых дискуссионных вопросах современной физики», 1954, стр. 19—20).

ниях мы потому не замечаем соответствующих квантов ($h\nu$), что их величина недоступна для наших средств измерения. Точно так же признается, что такие явления, как изменение массы тела и его размеров со скоростью, «волновые свойства» тел, замедление физических процессов в движущихся системах и проч., — что все эти явления якобы имеют место и в макромире, но благодаря малой скорости v они практически становятся для нас неощутимыми.

Легко заметить, что подобного рода мировоззрение склонно признавать только эволюционный характер развития природных процессов. По существу, это мировоззрение слишком императивно идет от математики к природе, а не наоборот. Другими словами, изменяя в соответствующих формулах те или иные величины, считают, что подобным же образом должна изменяться и сама природа.

Безусловно, в каких-то относительных пределах и этим, чисто математическим, путем часто удается в той или иной степени нащупать правильное представление о развитии природных явлений, но злоупотребление этим методом, как о том свидетельствует история многих теорий, может привести к абсурду (например, теория о конечности вселенной, о тепловой смерти вселенной и проч.).

В настоящее время все те положительные стороны, которые были заложены в современных математических соотношениях, повидимому, оказались исчерпанными и всякое углубление этих соотношений без должных физических предпосылок стало приводить к явным противоречиям.

Можно ли наметить выход из создавшегося положения?

С нашей точки зрения, надо прежде всего восстановить в своих правах то важнейшее природное начало, без которого невозможно что-либо понять и осмыслить в изучаемых нами микроявлениях. Речь идет о мировой среде («эфире»), которая в свое время была изъята из круга научных обсуждений теорией относительности. Каким бы коэффициентом ни была заменена эта среда в современных расчетных формулах, как бы сложно (замаскировано) ни учитывалось ее «незримое» влияние на протекание тех или иных микроявлений, — среда как физический фактор все равно оказывается гораздо богаче и многообразнее, чем заменяющий ее коэффициент. Именно поэтому рано или поздно, но допущенный в данном вопросе формализм должен был сказаться на качестве и полноценности современной теории.

Конечно, мировая среда не является тем «механическим эфиром», который фигурировал в теориях прошлых столетий. Его физическую сущность предстоит еще исследовать и раскрыть, но то обстоятельство, что современная физика разви-

валась в течение десятилетий без учета этого важнейшего фактора, безусловно, не могло пойти ей на пользу, а наоборот, привело ее к существующим теоретическим трудностям.

Если сделать хотя бы общее признание того, что мировая среда существует (что, вообще говоря, не противоречит современным взглядам), что она принимает участие во многих явлениях микромира, что ее функции в достаточной степени самостоятельны и поэтому их не следует приписывать взаимодействующим с нею частицам,— если это сделать, то даже такая первоначальная констатация фактов способна, по нашему мнению, оказать значительное влияние на усовершенствование современной теории.

Больше того, последовательно развивая богатые идеи прежней физики, прибегая в необходимых случаях к научно оправданным аналогиям и помня, что: «...противоположности и различия хотя и существуют в природе, но имеют только относительное значение...» (Ф. Энгельс),— можно в ином, более доступном и в то же время более оправданном, аспекте пересмотреть все существующие проблемы современной физики и найти им подобающее объяснение (или по крайней мере наметить некоторый путь для их последующего толкования).

Настоящий доклад продолжает рассмотрение дискуссионных вопросов современной физики и рассчитан на то, чтобы пробудить интерес соответствующих научных кругов к неисчерпанным еще возможностям классической теории (в качестве исходного пункта). Раскрытие научной истины не обязательно должно быть сложным и выходить за пределы доступных нам образов. Если существующие факты для своего физического истолкования и для установления их взаимной связи друг с другом не требуют каких-либо сверхрадикальных предположений и допущений, а решаются с помощью простых и обычных предпосылок, то в этом нельзя усматривать ни ущерба для наших знаний, ни ущемления и «вульгаризации» высокой науки.

Преодоление затянувшегося кризиса современной теории несомненно потребует больших усилий со стороны многих физиков. К сожалению, пересмотр некоторых устоявшихся взглядов затрудняется тем, что возвращение «к ясным образам классической физики» (Лорентц) воспринимается сейчас как вопиющий регресс, а не как насущная необходимость для хромающей теории. Можно, однако, высказать уверенность, что теория только тогда крепко встанет на ноги, когда она в полной мере восстановит те связи с другими явлениями природы, которые были порваны при рождении «новой» физики.

2. В ЧЕМ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ГИПОТЕЗЫ де БРОЙЛЯ?

1. Как известно, де Бройль выдвинул гипотезу о том, что всякое движущееся тело обладает волновыми свойствами.

Его формула

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (1)$$

связывает массу и скорость частицы с соответствующей длиной волны, присущей данному телу.

2. Но что собою физически представляют де бройлевские волны? Почему они возникают? Как объяснить, что движение малой частицы вызывает относительно длинные волны (для электрона порядка 10^{-8} см), а массивные тела дают λ сколь угодно малой величины (для земного шара примерно 10^{-53} см). Эти вопросы современная теория не разъясняет, а всего лишь констатирует, что: «...везде в физике нужно вводить одновременно и частицы и волны» (де Бройль). На вопрос о том, что же собою представляет эта двойственность, автор волновой механики де Бройль отвечает: «Это очень трудный вопрос, который еще далек от полного разъяснения» (Введение в волновую механику, 1934, стр. 11).

3. Как же ответить на только что поставленные вопросы? Дело в том, что уравнение де Бройля (1), с нашей точки зрения, вовсе не отображает собою «дуализма волновых и корпускулярных свойств материи», якобы слитых в одном объекте. Указанное уравнение в действительности призвано отобразить собою связь между движением тела и соответствующим колебанием среды, в которой эти тела движутся.

4. Представим себе вибратор, который колеблется в упругой среде. По закону сохранения энергии между вибратором и средой должна существовать связь в том смысле, что сколько вибратор потеряет энергии на возмущение среды, столько же среда приобретет энергии в виде соответствующих колебаний. Другими словами, должно существовать принципиальное равенство

$$\frac{1}{2} mv^2 \text{ вибратора} = h\nu \text{ среды} \quad (2)$$

или

$$\frac{1}{2} mv \cdot 2\pi r \nu \text{ вибратора} = h\nu \text{ среды.}$$

¹ Здесь не имеет значения, что кинетическая энергия вибратора $2\pi^2 m r^2 \nu^2$ представлена в виде кинетической энергии поступательного движения тела.

Обозначая $2\pi r$ через λ , имеем:

$$\lambda = \frac{2h}{mv} = 2\pi r, \quad (3)$$

или в конечном результате

$$r_{\text{вибратора}} = \frac{h}{\pi m v}. \quad (4)$$

5. Определим $\lambda_{\text{среды}}$. Для этого надо принять во внимание, что, помимо равенства (2), вибратор и взаимодействующая с ним упругая среда имеют общий для них параметр в виде частоты колебаний ν , т. е.

$$\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{среды}}$$

или

$$\frac{\nu}{2\pi r_{\text{вибратора}}} = \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3), получаем

$$\frac{\nu}{c} \lambda_{\text{среды}} = \frac{2h}{mv},$$

откуда

$$\lambda_{\text{среды}} = \frac{2h}{mv} \frac{c}{\nu}. \quad (6)$$

Таким образом, выражение (6) представляет собою зависимость между длиной волны, распространяющейся в среде, и соответствующими параметрами вибратора (m и ν).²

6. Произведем некоторые подсчеты по формулам (1) и (6) и определим отношение этих формул друг к другу.

Найдем $\lambda(2\pi r)$ для первого уровня электрона в атоме водорода сначала по формуле (1).

¹ Это выражение отличается от формулы де Бройля тем, что величина λ определяется здесь на основе кинетической энергии вибратора.

² Поскольку $E_{\text{вибратора}} = E_{\text{колебания среды}}$ и $\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{среды}}$, отношение $\frac{E}{\nu}$ не только является постоянной величиной, равной $6,62 \times 10^{-27}$ эрг. сек (как показал Планк), но и представляет собою важное связующее звено между поведением элементарного вибратора и средой. В настоящее время признается, что «...постоянная Планка играет роль переводного множителя, позволяющего переходить от волнового аспекта к корпускулярному и наоборот» (Э. В. Шпольский, Атомная физика, том 1, 1949, стр. 387). Если говорить о физической стороне дела, то под «волновым аспектом» надо подразумевать среду, а «корпускулярный аспект» надо отождествлять с вибратором (частицей).

Имеем

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{9,11 \cdot 10^{-28} \cdot 2,18 \cdot 10^8} = 3,33 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 2\pi r$$

или

$$r = \frac{3,33 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 3,14} = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ см.}$$

Легко заметить, что подсчет λ по формуле де Бройля, по существу, не отображает каких-либо «волн материи», как это предполагается в настоящее время, а дает величину, непосредственно относящуюся к самому вибратору (r).

Сделаем этот же подсчет по формуле (6)

$$\lambda = \frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{9,11 \cdot 10^{-28} \cdot (2,18 \cdot 10^8)^2} = 912 \text{ \AA}.$$

Эта величина действительно связана со средой, поскольку она соответствует предельной длине волны лаймановской серии.

7. Итак, формула де Бройля, в ее современном начертании, написана для частного случая, когда $v = c$ и соответственно $2\pi r_{\text{вибратора}} = \lambda_{\text{среды}}$.

Однако даже в этом неполном виде она сыграла историческую роль, так как де Бройль с помощью названного соотношения фактически вновь «открыл» среду, которая была изгнана из физики теорией относительности. К сожалению, это открытие не получило правильного теоретического толкования, поскольку вполне реальные волны среды были приняты за «особые» (по существу абстрактные) «волны материи». Надлежащее уточнение этого важного вопроса должно положительно сказаться на некоторых наших понятиях и расчетах, существующих в современной физике.

3. О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ МАССОЙ И СКОРОСТЬЮ ЧАСТИЦЫ

1. Этот важнейший вопрос современной физики также требует своего рассмотрения с точки зрения взаимодействия между движущимися частицами и средой.

2. В настоящее время считается вполне доказанным, что движущаяся частица увеличивает свою первоначальную массу (массу покоя) в соответствии с формулой

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7)$$

Важно, однако, отметить, что все опытные данные, говорящие в пользу существования зависимости (7) (начиная с опытов Кауфмана и кончая поведением электронов в современных ускорителях), в действительности устанавливают изменение величины $\frac{e}{m}$ электрона, причем во всех случаях считается, что: «...заряд частицы e остается постоянным, поэтому всякое изменение в значении $\frac{e}{m}$ с изменением скорости следует относить за счет изменения массы частицы m » (Г. Семат, Введение в атомную физику, 1948, стр. 77). При ближайшем рассмотрении условий опытов можно, однако, заметить другую и, как нам кажется, более реальную причину изменения величины $\frac{e}{m}$, чем существующее мнение об изменении массы частиц.

3. Для выяснения данного вопроса приведем следующую аналогию. Предположим, что требуется определить затрату энергии при сообщении некоторому макрошару различных скоростей. В области сравнительно низких перемещений увеличение энергии шара в зависимости от скорости, как известно, протекает по закону

$$E = \frac{1}{2} Mv^2. \quad (8)$$

Придавая, однако, шару все большую и большую энергию движения, можно было бы заметить, что формула (8) перестает удовлетворять эксперименту, так как потребная энергия для достижения некоторой значительной скорости v оказалась бы при подсчете меньше, чем это получается из непосредственного измерения E . Таким образом, экспериментатор должен был бы сделать заключение, что в области высоких скоростей всякое дополнительное увеличение скорости шара требует все более высокой затраты энергии, чем это следует из формулы (8).

Если считать, что эта формула является правильной при всех скоростях шара и что в наблюдаемом явлении нет никаких скрытых факторов, кроме прямых взаимоотношений между E , M и v , то для удовлетворения соотношения (8) в области повышенных и высоких скоростей шара пришлось бы сделать предположение, что масса движущегося тела не остается постоянной, а увеличивается по мере увеличения его скорости (при условии правильного измерения величины v).

4. В действительности, нарушение зависимости (8) в области высоких скоростей происходит, как всем понятно,

совершенно от другой причины. На самом деле растет не масса шара, а сопротивление среды (воздуха), которое становится все более заметным по мере увеличения скорости шара. С принципиальной стороны приведенная аналогия вполне применима к тому, чтобы объяснить «увеличение» массы электрона по мере увеличения его скорости.

Современная теория, хотя и правильно фиксирует существующие факты, но не дает им должного толкования. Так, например, Э. В. Шпольский пишет: «Если покоящийся электрон под действием некоторой внешней силы привести в движение со скоростью v , то работа, которую при этом необходимо будет затратить, пойдет не только на увеличение кинетической энергии от 0 до $\frac{1}{2} m_m v^2$, но и на создание магнитного поля с некоторой энергией. Результат, следовательно, будет такой, как если бы масса электрона m_m увеличилась на добавочную массу m_e » (Атомная физика, том 1, 1949, стр. 42).

Другой автор отмечает: «При движении электрона вокруг него создается магнитное поле. Для создания этого поля нужна энергия» (Д. Странатан, Частицы в современной физике, 1949, стр. 133). По существу в этих кратких выдержках имеется все, чтобы вопрос об «увеличении» массы электронов решить так, как этого требует суть данного явления. Надо только принять, что электрон движется в среде и что возмущение этой среды, связанное с затратой энергии, и есть магнитное поле, созданное движущейся частицей. Таким образом, добавочная затрата энергии для сообщения телу все более высоких скоростей [сверх той энергии, которая подсчитывается по формуле (8)] вызывается не увеличением массы частицы, а преодолением сопротивления среды, которое становится все более сильным по мере возрастания скорости частицы.

5. В настоящее время для высоких скоростей электрона пишется зависимость

$$E = \frac{m_0 v^2}{2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (9)$$

которая якобы учитывает «увеличение» массы частицы от ее скорости.

В действительности, как только что говорилось, множитель

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = A$$

учитывает сопротивление среды и является тем естественным добавлением к формуле (8), при котором названное сопротивление становится практически ощутимым.

Преобразуя формулу (9) в виде суммы двух энергий, имеем

$$E = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right). \quad (10)$$

Первое слагаемое есть та энергия, которая затрачивается на преодоление инерции частицы, второе слагаемое связано с затратой энергии на преодоление сопротивления среды.

6. В физике уже давно известно, что: «Инертность тела может быть обусловлена или свойствами самого тела, или свойствами среды, в которой оно движется. В связи с этим различают «истинную массу» и «кажущуюся массу» тела, появляющуюся в результате сопротивления среды» (К. А. Путилов, Курс физики, т. II, 1954, стр. 422). Возникает вопрос, почему же эту столь очевидную истину считают неуместным применить к движущемуся электрону? Во-первых, потому, что теория относительности фактически зачеркнула среду и по этой причине ее привыкли игнорировать; во-вторых (что является следствием первого), физическая сущность микрочастиц стала казаться исследователям гораздо сложнее, чем это есть в действительности².

Как бы отвечая на наш вопрос, К. А. Путилов пишет: «Иное дело электрон. Материальная частица с массой, рав-

¹ Эту же формулу можно представить и в виде произведения:

$$E = A \cdot \frac{1}{2} m v^2,$$

где коэффициент A , равный

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

учитывает энергию сопротивления среды. Легко заметить, что при малых значениях v коэффициент A превращается в единицу.

² Мы тем самым не намерены утверждать, что микрочастицы суть простые «шарики». Мы лишь говорим о том, что если современная физика не учитывает в должной мере поведения и свойства среды, как таковой, то реальное и неизбежное проявление этой среды по необходимости пришлось приписать самим частицам («частица-волна»), что в невероятной степени осложнило физическое восприятие микрообъектов. Таким образом, здесь не идет речь об упрощенном (вульгарном) толковании микрочастиц. Здесь всего лишь отмечается, что физическим объектам нельзя приписывать того, чего они не имеют (о «волновых» свойствах частиц см. дальше).

ной массе электрона, но лишённая заряда, никогда не была наблюдена. Мы поэтому неправы рассматривать движение электрона, отаекаясь от сопутствующего ему поля... Поскольку магнитное поле неотъемлемо от движущегося электрона, то очевидно, что кажущаяся масса и должна рассматриваться как истинная масса электрона» (там же, стр. 423).

Однако нейтрон не имеет заряда и тем не менее его масса «увеличивается» по тому же закону, как и масса электрона.

Кроме того, что значит «магнитное поле неотъемлемо от движущихся частиц?». Если представить себе поле (среду), как некую индивидуальность, то движущаяся в нем частица тоже будет «неотъемлема» от поля, поскольку она обязательно будет с ним взаимодействовать, возбуждая в нем соответствующие волны. Но это далеко от того, чтобы поле и частицы воспринимать в их особом «единстве» (частица-волна), не признавая за ними раздельного существования¹.

7. В заключение отметим следующее: если говорить о зависимости массы от скорости, то эта зависимость действительно существует, но она относится не к массе движущегося тела, а к той массе среды, которая непосредственно участвует в сопротивлении движению тела. При малых скоростях движения данного тела масса среды, вовлеченная в движение, тоже окажется относительно малой, но по мере увеличения скорости движущегося тела масса «возмущенной» среды также будет увеличиваться.

Таким образом, современное представление о зависимости массы от скорости, вообще говоря, имеет физическое содержание, но только не в отношении того объекта, которому в настоящее время это явление приписывается.

4. О МИРОВОЙ СРЕДЕ («ЭФИРЕ»)

1. Ввиду малого количества опытных данных в настоящее время о свойствах и физической сущности мировой сре-

¹ В настоящее время говорится, что: «Электрон это частица и в то же время он центр порожденного им электромагнитного поля, которое является носителем его энергии и массы» (К. А. Путилов). С нашей точки зрения, электрон это, действительно, частица (т. е. нечто компактное), но он при своем движении не порождает электромагнитного поля (поскольку это поле уже существует), а возбуждает это поле, что, естественно, связано с затратой его энергии и что неправильно воспринимается нами как «увеличение» истинной массы электрона. Частицы и среда вместе и порознь и составляют то «единое и противоречивое», что в своем взаимодействии является причиной многих явлений, которые современной теорией воспринимаются и трактуются в достаточной степени неточно и даже искаженно.

ды можно сделать только самые общие и предварительные суждения.

2. С нашей точки зрения, прежде всего следует обсудить вопрос, является ли «эфир» материей или веществом¹. В современной физике «эфир» по существу фигурирует под названием «электромагнитного поля», которое в свою очередь отождествляется со светом. И то, и другое в настоящее время трактуется как материя, а не как вещество: «...свет (электромагнитное поле) и вещество представляют собою две различные формы материи» (Г. С. Ландсберг, Оптика, 1952, стр. 23); «...частицы вещества могут превращаться в свет и обратно» (С. И. Вавилов, Сб. «Философские вопросы современной физики», 1952, стр. 13) и т. д.

Обсудим подробнее этот вопрос.

3. Как известно, под материей разумеют предельно широкое понятие, дальше которого по сути дела не может пойти теория познания (В. И. Ленин, Материализм и эмпириокритицизм, 1946, стр. 125). Однако это столь общее понятие материи во многих случаях удалось настолько конкретизировать средствами науки и практики, что материя предстает перед нами в виде ее вещественных форм.

Таким образом, над всеми веществами, как частными формами материи, стоит общее и объединяющее их начало — сама материя. Зная это, можем ли мы какое-либо вещество поставить рядом с материей, т. е. непосредственно возвести его в ранг материи, выделив это вещество из среды других? Если это сделать, то понятие материи в виде общего и предельно широкого понятия потеряет свой смысл. Тогда окажется, что существует по крайней мере две материи, которые потребуют своего объединения в каком-то новом понятии «сверхматерии».

Отсюда вытекает, что *единое* и общее понятие материи может быть конкретизировано понятием *вещества*, т. е. таким проявлением материи, когда она в результате наших исследований обнаруживает те или иные вещественные параметры (т. е. массу, плотность, структуру, заряд и проч.).

4. Если при изучении материального мира мы начинаем наблюдать нечто особенное, не похожее на свойства уже изученных веществ, мы не должны это «особенное» оставлять в пределах общего и тем более противопоставлять его веществу. Наоборот, в каждом таком случае мы обязаны отметить, что с помощью научных средств нам, повидимому, удалось еще глубже проникнуть в то общее и неисчерпаемое, что

¹ Возбуждая этот вопрос, мы не противопоставляем материю веществу (см. об этом дальше).

мы называем материей. Как же с этой точки зрения можно охарактеризовать ту объективную реальность, которая воспринимается нами как «поле», «эфир» или «вакуум»? Должны ли мы утверждать, что это материя, а не вещество?

Конечно, это материя, но такая материя, которая уже стала доступной для наших методов научного исследования. Эта материя предстает перед нами в некоторых своих индивидуальных качествах, она как-то выявляется и конкретизируется на общем фоне неизученной еще материи. Другими словами, электромагнитное поле («эфир») является, по нашему мнению, не только материей, но уже заслуживает наименования вещества, правда, мало и слабо изученного, но все же заявившего о своих индивидуальных свойствах.

5. Итак, с нашей точки зрения, «эфир» есть вещество, а не просто материя. Д. И. Менделеев признавал эфир веществом¹ и приписывал ему состояние некоего элементарного чрезвычайно легкого газа. Признавая эфир веществом, можно с большей уверенностью и основанием делать некоторые предположения о его строении и свойствах. В частности, надо пересмотреть высказывания Эйнштейна о том, что мы якобы должны принципиально отказаться от исследования движений в эфире, что: «...нельзя представить себе эфир состоящим из частей, которые можно исследовать во времени; таким свойством обладает только весома материя; точно так же нельзя применять к нему понятие движения» (Эфир и принцип относительности, изд. 1921 г.)².

6. Что же можно сказать в настоящее время о состоянии и строении среды, которую принято называть электромагнитным полем, «эфиром» или «вакуумом»? Уже отмечалось, что по этому вопросу можно высказать сейчас только самые общие (дискуссионные) предположения. Однако для пользы дела, в меру имеющихся опытных данных и научно оправданных аналогий, такие предположения мы все же обязаны делать.

Г. Эйлер, сравнивая скорость света со скоростью звука, утверждал, что эфир есть субстанция, «...значительно более тонкая и упругая, чем обыкновенный воздух». По нашему мнению, в этом сравнении имеется значительная доля истины и оно может служить некоторым отправным пунктом для вы-

¹ Мы не даем здесь исторической справки, но можем отметить, что многими исследователями эфир уже давно трактовался в качестве некоего вещества.

² Вопросы теории относительности будут изложены нами в следующем докладе. Будет показано, что роль среды и в этих вопросах имеет определяющее значение.

работки хотя бы общих представлений об эфире. Зная, что звук распространяется в воздухе с достаточно постоянной скоростью, сравним этот факт с постоянством скорости света и попытаемся сделать из этого сравнения некоторые выводы. Предварительно напомним, что скорость распространения звука в какой-либо газовой среде и средняя скорость движения частиц этой же среды фактически связаны одним и тем же принципиальным соотношением.

Так, для скорости звука в воздухе имеем:

$$v = \sqrt{\frac{1,41 RT}{\mu}}. \quad (11)$$

Для средней скорости частиц:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (12)$$

По существу, соотношения (11) и (12) указывают, что скорость распространения звука в газовой среде определяется средней скоростью частиц данного газа. Если все это принять во внимание и предположить, что отмеченные обстоятельства в принципе находят себе оправдание не только в явлении звука, но и в явлении света, то это фактически дает нам возможность судить о скорости «микро-микрочастиц» мировой среды («эфира»). Другими словами, мы можем сделать в какой-то мере допустимое предположение, что «эфир» должен состоять из отдельных частиц, движущихся со средней скоростью порядка $3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

Примечание. Исторически все изученные ныне среды (твердая, жидкая и газообразная) вначале воспринимались как *сплошные* среды. Однако впоследствии, при более глубоком изучении, оказывалось, что они состоят из частиц (хотя для *практических* расчетов и сейчас в целом ряде случаев эти среды рассматриваются, как «сплошные»). В настоящее время мировая среда (поле) также воспринимается как *сплошная* среда.

Однако целый ряд авторов уже высказывался в пользу ее «зернистости». Мы считаем, что многие явления микромира могут быть физически истолкованы только в предположении, что поле («эфир») состоит из микро-микро-частиц.

II. Представление о том, что «эфир» состоит из микро-микро-частиц и что они находятся в движении, позволяет объяснить тот непонятный сейчас факт, что «...при термодинамическом равновесии между колеблющимися атомами вещества и электромагнитным излучением почти вся энергия со-

средоточена в колеблющихся атомах и лишь ничтожная часть ее приходится на долю излучения, находящегося с ними в равновесии» (Э. В. Шпольский, Атомная физика, т. I, 1949, стр. 248).

Утверждается, что этот факт, являясь совершенно исключительным, не может найти себе объяснения в пределах наших обычных представлений и что якобы в этом вопросе классическая физика потерпела самое серьезное поражение (Э. В. Шпольский). В действительности классическая физика никогда не утверждала, что тепловое равновесие между телами может наступить только при условии равного распределения тепловой энергии между соприкасающимися телами. Известно, например, что кусок железа может находиться в термодинамическом равновесии с водородом, однако удельная концентрация тепла в железе и удельная концентрация тепла в водороде будут отличаться друг от друга в сотни раз. Можно ли в связи с этим ответить на вопрос, почему в электромагнитном поле («эфире») плотность тепловой энергии будет в 10^{14} раз меньше, чем в куске железа, находящегося в тепловом равновесии с полем? Если считать, что электромагнитное поле лишено зернистости, что эфир не может состоять из движущихся частиц (Эйнштейн), то на этот вопрос действительно нельзя ответить. Но так как в природе не существует материи без движения, то электромагнитное поле («эфир») также наделено внутренним движением, как любая известная нам твердая, жидкая или газообразная среда. Следовательно, тепловое равновесие вещества с полем должно предопределяться не стремлением к равномерному распределению тепла между названными объектами, а законом усреднения кинетической энергии их частиц, т. е.

$$N \frac{m_3 c^2}{2} \text{ частиц «эфира»} = \frac{M v^2}{2} \text{ частицы вещества,} \quad (13)$$

где N — число частиц «эфира», одновременно взаимодействующих с частицей вещества, и m_3 — масса частицы «эфира».

Ввиду того, что частицы «эфира» движутся с огромной скоростью (порядка $3 \cdot 10^{10}$ см/сек), всякую концентрацию энергии они чрезвычайно быстро разносят по мировому пространству (передавая импульсы от одной частицы к другой), поэтому «нагреть» или «охладить» эфир весьма затруднительно. Практически он всегда имеет свою собственную «температуру»¹.

¹ В физике, однако, рассматривается такое тепловое равновесие вещества (тела) с электромагнитным излучением, когда последнее изоли-

III. Большим затруднением при определении физической сущности «эфира» является то обстоятельство, что он должен иметь весьма противоречивые свойства, а именно: ничтожную плотность и огромную упругость. Но такими свойствами может обладать газ, если его подвергать нагреванию при постоянном давлении. Благодаря увеличению скорости частиц газа его плотность по мере нагревания будет уменьшаться, а упругость (т. е. способность передавать движение) — расти. Принимая «эфир» за некоторый «газ» с чрезвычайно малой массой частиц и со средней скоростью этих частиц порядка $3 \cdot 10^{10}$ см/сек, можно легко представить, что такой «газ» будет обладать ничтожной плотностью и весьма высокой упругостью¹. Но это и есть те свойства, которые постоянно приписывались эфиру по условиям его проницаемости и скорости распространения света. Тот факт, что свет распространяется в виде поперечных колебаний, заставлял многих исследователей принимать эфир за твердое тело, что вносило еще больше затруднений в этот вопрос. С нашей точки зрения, поперечные колебания света не являются препятствием для истолкования эфира в виде «газа». Все дело в физической сущности этого «газа».

IV. В общем случае плотность газовой среды должна зависеть не только от скорости и массы отдельных частиц, составляющих среду, но и от свойств самих частиц. Если бы среда оказалась составленной из одноименно заряженных частиц, то вероятность столкновения их друг с дру-

ровано от мирового пространства и окружено «оболочкой с идеально отражающими стенками». В этом случае часть тепловой энергии от нагретого тела пойдет на нагревание среды («эфира»), что будет связано с возрастанием кинетической энергии микро-микрочастиц за счет увеличения их средней скорости. Однако при достижении теплового равновесия общий запас тепловой энергии поля окажется ничтожным по сравнению с общим запасом тепла в теле, так как термодинамическое равновесие между любыми объектами характеризуется не уравниванием их тепловой энергии, а (повторяем) равенством кинетической энергии их частиц. Кстати, если в изолированном пространстве «эфир» может быть нагрет или охлажден, то в связи с этим допустимо поставить вопрос о различной скорости распространения света в «холодном» и «нагретом» эфире.

¹ Уже отмечалось, что Д. И. Менделеев считал эфир некоторым элементарным газом. Исходя из положения, что частицы эфира наполняют мировое пространство. Д. И. Менделеев писал, что «...скорость их v , очевидно, должна быть столь велика, чтобы, преодолев притяжение всяких небесных светил, они могли вырываться из сферы их притяжения» (Основы химии, т. II, пятое посмертное издание, 1949, стр. 384—385). На основании этого рассуждения Д. И. Менделеев оценивал скорость частиц эфира не ниже, чем $2 \cdot 10^6$ см/сек. Мы считаем, что эта скорость должна выводиться из скорости распространения света, т. е. иметь значение порядка $3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

гом была бы выше, чем для случая нейтральных (не взаимодействующих) частиц. Передача сигналов (возмущений) в такой среде зависела бы не только от средней скорости частиц, но и от действия одноименных зарядов. Таким образом, передача импульса от одной частицы к другой совершалась бы здесь не в результате чисто механических столкновений масс, а в результате воздействия подвижных зарядов друг на друга. Важно отметить, что в такой среде возможно появление поперечных колебаний (более подробные соображения о названной среде мы дадим в следующей брошюре).

5. О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ СВЕТА

1. Вопрос о физической сущности света обсуждается уже в течение трех столетий. С переменным успехом в течение этого времени боролись две теории: корпускулярная и волновая. Современная физика пошла по пути объединения (синтеза) как волновых, так и корпускулярных представлений о свете. Однако этот «синтез» заключается не столько в том, чтобы взаимозависимо рассматривать корпускулярные и волновые явления, сколько в неразличимом и слитном толковании этих явлений,— в наделении частиц прямыми и непосредственными волновыми свойствами. Тем самым световые явления приобрели в современной теории вполне обособленное место, чуждое каким-либо другим явлениям природы.

2. Однако при истолковании физической сущности микро-явлений, как уже нами неоднократно отмечалось, надо не отгораживать эти явления от явлений макромира, а, наоборот, следует смелее идти по пути научно оправданных аналогий, которые несомненно помогут исследователю проникнуть в принципиальную суть изучаемого вопроса. Руководствуясь этим правилом, возьмем в качестве ближайшей аналогии свету явление звука.

Что имеется общего между звуком и светом?

Тот и другой распространяются прямолинейно, но при известных обстоятельствах они могут огибать препятствия. Для звука и света характерны явления интерференции, отражения и поглощения. Звук и свет возникают в результате колебаний (движения) материальных тел. Скорости распространения звука и света отличаются определенным постоянством, характерным для каждого из них. В явлениях звука и света обнаруживается общий для них эффект Доплера и т. д. и т. п.

Конечно, звук и свет имеют и свои особенности, но не эти особенности надо ставить во главе наших общих заключений

о природе света. Если фиксировать наше внимание только на особенностях явлений, то это обстоятельство может повести в сознании исследователя к отрыву одних явлений природы от других, что будет противоречить закону о всеобщих связях в природе. Для раскрытия физической сущности света надо особенности этого явления рассматривать на фоне того общего и фундаментального, что роднит его с другими (аналогичными) явлениями природы.

3. Итак, что собою представляют звук и свет в своей материальной основе? Звук — это процесс, возникающий при движении макрообъектов в среде. Свет — это тоже процесс, но возникающий при движении микрообъектов в соответствующей среде. Рассматривая эти явления совместно (в виде аналогов), пользуясь тем, что явление звука достаточно хорошо изучено и физически осмыслено, можно и в явлении света уточнить и осмыслить некоторые весьма существенные черты.

Поставим такой вопрос: является ли звук материей или веществом? Каждому ясна бессодержательность этого вопроса. Звук — не материя и не вещество, звук — материальный процесс. Однако, как отмечалось, в современной теории свет непосредственно характеризуется как материя, говорится, что свет может переходить в вещество, а вещество в свет. Свет не может быть ни материей, ни веществом; свет является материальным процессом, происходящим в результате движения материальных микрообъектов в материальной среде¹.

4. В настоящее время считается, что: «...свет не нуждается для своего истолкования в представлении о гипотетической среде — «эфире» (Г. С. Ландсберг, Оптика, 1952, стр. 23). Но это примерно звучит так же, как: «...звук не нуждается для своего истолкования в представлении о гипотетической среде — воздухе». Воздух не есть нечто постороннее и независимое от процесса возникновения и распространения звука; точно так же и свет не есть что-то механически вкрапленное в среду, которую раньше называли эфиром. Как уже говорилось, свет есть процесс, а среда есть та необходимая составляющая, без участия которой этот процесс не может реально осуществляться. Четкое установление этой истины, несомненно, должно способствовать разъяснению некоторых вопросов, которые возникли в современной теории.

¹ Что касается фактов, которые в настоящее время аттестуются, как «переход света в вещество и вещества в свет», то это явление, видимо, следует трактовать как переход (превращение) частиц при соответствующих обстоятельствах в среду и среды в частицы.

6. О НЕКОТОРЫХ СЛУЧАЯХ ПОВЕДЕНИЯ СВЕТА

1. Итак, свет есть частный случай возмущения среды в результате действия тех или иных возбудителей¹. Свет может возникнуть от всех видов движения частиц: поступательного, вращательного и колебательного. Свет, возникающий от резонансных колебаний элементарных вибраторов (электронов), фиксируется нами в виде отдельных «вспышек» на соответствующих спектрограммах (см. главу 13). Свет действительно «излучается» порциями (квантами), поскольку каждый вибратор создает соответствующую волну в среде при каждом своем колебании. Прямолинейно движущаяся частица создает в среде «пакет волн», который затем постепенно рассредоточивается в пространстве².

2. Наблюдая с помощью тех или иных приборов световые явления, мы можем преимущественно исследовать или корпускулярную или волновую составляющую света.

В камере Вильсона, в явлении фотоэффекта, люминесценции и др. нами фиксируется поведение «возбудителей» света (частиц); в явлении интерференции, поляризации, в постоянстве скорости света и проч. улавливается его волновая природа, т. е. поведение среды. Таким образом, никакого противоречия между корпускулярной и волновой природой света нет (Ньютон, Гюйгенс), но нет и того «слияния» волновых и корпускулярных свойств, которое принято в современной теории. Частицы и среда существуют отдельно, но в то же время между ними имеется глубокая и разносторонняя связь (взаимодействие), что в конечном результате и порождает те разнообразные явления, которые мы наблюдаем.

3. Если на пути «белого» пучка света поставить стеклянную призму, то можно получить разложение света по соот-

¹ В зависимости от природы «возбудителей» возмущение среды может характеризоваться весьма различными колебаниями: от длинноволновых радиоколечаний до ультракоротких γ -колебаний.

² В момент резонансных возбуждений электрон фактически также «посылает» в пространство узкие «пакеты волн», которые, в конечном результате, фиксируются нами в виде той или иной спектральной линии. Но так как движение «волновых пакетов», во-первых, происходит во времени (т. е. с конечной скоростью) и, во-вторых, не в абсолютно упругой среде, то они с течением времени должны «расплываться» и тем в большей степени, чем больший путь они проходят в пространстве. Не этим ли объясняется, что спектры наиболее удаленных от нас туманностей смещены к красному концу? Расплывание «пакетов» как раз должно вести к увеличению расстояния между отдельными волнами, т. е. к увеличению длины волны λ . В настоящее время вопрос о «красном смещении» все еще не находит вполне достоверного объяснения.

ветствующим длинам волн (спектр). Ввиду того, что колебания частиц в излучателе следуют закону распределения Максвелла—Больцмана, максимум энергии в спектре окажется не в коротковолновой части спектра, как это предсказывала формула Рэлея—Джинса, а там, куда попадут «лучи» со средними частотами.

Каждый такой средний «луч» (колебание) будет иметь меньше энергии, чем коротковолновый «луч» (колебание), но зато их количество, согласно закону распределения, будет наибольшим и, следовательно, их суммарная энергия также окажется наибольшей. Хотя это явление уже давно истолковано с точки зрения квантовых понятий (Планк), однако с нашей точки зрения нет необходимости в данном вопросе противопоставлять квантовую теорию классической¹.

4. Итак, во всех световых процессах действуют такие определяющие факторы (частицы и среда), игнорирование которых или искаженное представление об их физической сущности, безусловно, затрудняет понимание многих оптических явлений.

7. О ЯВЛЕНИЯХ ФОТОЭФФЕКТА

1. Хорошо известно, что скорость вырываемых электронов при фотоэффекте не зависит от интенсивности освещения, а целиком определяется частотой света.

Это явление считается «...загадочным с классической точки зрения», потому что «...как бы хитроумно ни была придумана модель этого явления, приращение скорости электрона, согласно уравнению Ньютона, пропорционально действующей

¹ Непримириное противоречие, которое возникло между предсказаниями Рэлея—Джинса и действительным распределением энергии вдоль спектра излучения черного тела, было воспринято в физике, как «...наиболее серьезное поражение классической теории, когда она была применена к проблеме теплового излучения» (Э. В. Шпольский, т. I, 1949, стр. 246). Хотя всюду считается, что выводы Рэлея—Джинса были целиком основаны на представлениях классической физики, однако это не вполне соответствует действительности. Рэлей и Джинс при выводе своей формулы исходили из неправильного представления о сплошной среде, заполняющей исследуемое пространство. Именно поэтому в их формуле не был учтен важнейший закон распределения, который со времен Максвелла—Больцмана широко и продуктивно используется классической физикой. Таким образом, в вопросе распределения энергии вдоль спектра излучения черного тела потерпела поражение не классическая физика, а неправильные предпосылки Рэлея и Джинса, которые не учли всех возможностей классической физики. Эти возможности были в значительной степени учтены Михельсоном и Вином. По своему принципиальному содержанию формула Вина не отличается качественно от формулы Планка, так как обе зависимости дают колоколообразную кривую.

силе» (Д. И. Блохинцев, Основы квантовой механики, 1949, стр. 15). Можно, однако, показать, что противоречие между явлением фотоэффекта и классической теорией, по существу, отпадает, если при рассмотрении этого вопроса учесть некоторые обстоятельства, которые до сих пор почему-то не принимались во внимание.

2. Итак, почему же увеличение интенсивности света (числа фотонов, падающих на поверхность исследуемого объекта) не ведет к увеличению скорости фотоэлектронов? Это явление может оказаться не столь загадочным, если сделать некоторое предположение о размере фотонов. Указанный параметр пока нигде не фигурирует в расчетах современной физики, но он безусловно существует и вне всякого сомнения должен играть свою роль в соответствующих явлениях¹.

3. Сделаем предположение, что геометрический размер фотона соизмерим с размером электрона. В этом случае увеличение числа падающих фотонов и в самом деле не способно увеличить скорости освобождаемых электронов, так как любой электрон в каждый данный момент может подвергаться воздействию только одного фотона.

4. Какой же фактор в этих условиях способен повлиять на скорость освобождаемого электрона? Только увеличение индивидуальной энергии фотонов, т. е. их непосредственная «живая сила», а не их количество. Так называемая «красная граница фотоэффекта» именно тем и объясняется, что для вырывания электронов из того или иного вещества фотоны должны иметь энергию не ниже некоторого минимального предела. Недостаток энергии фотонов нельзя возместить их количеством (случайные воздействия на электрон двух или еще реже нескольких фотонов, летящих друг за другом и способных усилить удар, практически не могут иметь заметного эффекта).

5. Таким образом, явление фотоэффекта подтверждает раздельное существование частиц и среды. В названном явлении участвуют частицы, и, как правило, не способна проявить себя среда (волны). Что касается энергии фотона, якобы зависящей от частоты колебания, то эта «зависимость» есть обратное следствие его взаимоотношений со сре-

¹ В свое время О. Д. Хвольсон писал: «Огромный недостаток теории световых квантов заключается в том, что не удалось что-либо выяснить относительно формы и в особенности размеров световых квантов» (Физика наших дней, 1928, стр. 187). Кстати, это — общий недостаток современной теории, которая предпочитает трактовать элементарные частицы в виде геометрических точек.

дой. Другими словами, об энергии фотона мы судим по энергии той волны, которую он вызвал в среде ($h\nu$) (см. об этом на стр. 47).

8. О ТУННЕЛЬНОМ ЭФФЕКТЕ

1. Квантовая механика оправдывает случаи, когда элементарные частицы, не обладая достаточной энергией для преодоления высоты потенциального барьера, все же оказываются по другую сторону гребня. Таким образом, частицы как бы совершают работу, которую нельзя проделать, если следовать законам классической механики. Подобного рода явление называется в современной физике «туннельным эффектом». По этому поводу Гейзенберг пишет: «...частица вопреки всем ожиданиям, основанным на законе сохранения энергии, способна в течение более или менее длительного времени, по закону случая, просочиться сквозь потенциальный барьер, как бы при помощи туннеля» (Физика атомного ядра, 1947, стр. 111).

2. Столь «на первый взгляд парадоксальное явление» (Д. И. Блохинцев) объясняют в современной физике, исходя из представления о «частице-волне». Так, например, А. Ф. Иоффе указывает: «...прохождение электронов сквозь барьер представляется необычным лишь с корпускулярной точки зрения. С волновой точки зрения оно вполне естественно: волна может разделиться на две части, одна из которых отражается, а другая проходит» (Основные представления современной физики, 1949, стр. 158).

Неудовлетворительность этого объяснения заключается в том, что если «волна может разделиться на две части», то частица (электрон) этого сделать не может. Таким образом, вопрос о проникновении всей частицы через барьер остается открытым.

3. Д. И. Блохинцев, основываясь на принципе неопределенности, считает туннельный эффект вполне объяснимым, так как: «...деление полной энергии на потенциальную и кинетическую (что характерно для классической теории) в квантовой механике лишено смысла» (Основы квантовой механики, 1949, стр. 386). Однако можно показать, что туннельный эффект не является спецификой «волновых свойств» материи, а может быть объяснен, если исходить из обычных статистических представлений.

4. Конкретно туннельный эффект был обнаружен при распаде атомных ядер с выделением α -частицы. Оказалось, что вылетающая из ядра α -частица имеет энергию гораздо меньше той, которая ей нужна для преодоления связи с ядром. Другими словами, α -частица, не имея достаточной

энергии для перескока соответствующего потенциального барьера, все же оказывается в состоянии покинуть ядро и тем самым вызвать явление, якобы противоречащее классическим законам.

5. Для объяснения туннельного эффекта можно сослаться на одно всем известное явление, в котором частицы также преодолевают, казалось бы, непосильный для них барьер, но которое легко объясняется с классической (статистической) точки зрения. Вопрос идет об испарении твердых веществ при температурах ниже их точек плавления и кипения.

6. И в самом деле, как можно объяснить явление, когда тугоплавкие вещества (например, железо, платина, вольфрам и проч.) в определенной степени испаряются при комнатных температурах? Любые частицы металла, имеющие среднюю энергию $3kT$, безусловно не могут достигнуть при комнатной температуре парообразного состояния, так как их путь к свободному существованию преграждается весьма высоким потенциальным барьером.

Однако распределение энергии среди частиц вещества, как известно, подчиняется законам статистики, поэтому отдельные, наиболее энергичные, атомы способны преодолеть взаимодействие с другими частицами тела и выйти за пределы поверхности этого тела, т. е. могут «испариться».

7. Для объяснения вылета α -частицы из ядра, с нашей точки зрения, нет необходимости прибегать к специальным гипотезам вроде «частицы-волны» или «туннельного эффекта», так как это явление в действительности не выходит за пределы тех общих статистических толкований, которые нашли столь широкое и полезное распространение в современной физике.

8. Кстати, важно отметить, что о возможности статистического толкования названного явления уже ставился вопрос в теоретической физике. Это видно, например, из следующего высказывания Гейзенберга: «... можно себе представить, что имеющиеся в ядре другие движущиеся частицы, в силу случайных обстоятельств, передадут свою энергию рассматриваемой альфа-частице, так что последняя сможет уже затем преодолеть потенциальный барьер» (Физика атомного ядра, 1947, стр. 108—109). Однако привычка толковать явления микромира с «особых» позиций, резко и непримиримо отличных от наших обычных представлений, заставляет Гейзенберга здесь же отказаться от статистического толкования названного явления, исходя из разработанного им соотношения неопределенностей.

9. Итак, преодоление той или иной частицей слишком высокого для нее потенциального барьера не нуждается в спе-

циально придуманных гипотезах и не составляет какой-либо загадки по сравнению с другими (аналогичными) явлениями природы. Так называемый «туннельный эффект» можно объяснить с обычной (классической) точки зрения, если принять во внимание, что энергия сосуществующих частиц в ядре распределена между ними статистически.

Примечание. Яркий пример полезного использования образов классической физики в теории ядерных процессов дал в 1936 г. Я. И. Френкель. Проведя аналогию между ядерными силами и силами молекулярного сцепления частиц в капле обыкновенной жидкости, Я. И. Френкель показал «...блестящий пример того, как верно выделенная существенная черта явления позволила подобрать в арсенале старой привычной физики простую модель и с помощью уже привычных средств углубить и расширить найденную характеристику... Так возникли понятия испарения и температуры ядра, прочно лежащие сейчас в основе ядерной физики» (Я. А. Смородинский, предисловие к книге Я. И. Френкеля «Принципы теории атомных ядер», 1955, стр. 4).

В современной физике широко распространено мнение, что наивно и ненаучно привлекать идеи классической физики к истолкованию типичных микроявлений, что образы микромира настолько необычны и далеки от наших привычных представлений, что к ним нельзя подобрать хоть сколько-нибудь серьезных аналогий из обихода прежней физики.

Но почему же отдельные аналогии (вроде аналогии, предложенной Я. И. Френкелем) приносят столь существенную пользу при рассмотрении тех или иных вопросов микромира? Являются ли эти аналогии случайными совпадениями или же они имеют вполне надежное оправдание, вытекающее из самого развития природных явлений? В этом и заключается неправильный взгляд ортодоксальной теории, которая классическую физику очерчивает слишком *резкими* границами. За пределами этих границ ортодоксальной теории все кажется «необычным» и «западочным», не способным переключаться с уже изученными явлениями. Именно здесь нарушается та общеизвестная и фундаментальная истина, что все явления в природе так или иначе связаны друг с другом, что между ними нельзя поставить глухой непроницаемой стены.

Таким образом, удачные аналогии между микро- и макроявлениями, безусловно, не являются случайными совпадениями; наоборот, имея вполне естественное и глубокое оправдание, они должны быть *сознательно* включены в

наши важнейшие средства теоретического исследования. Признается, что, выдвигая свою простую аналогию ядерным процессам, Я. И. Френкель проявил «большую научную смелость» (Я. А. Смородинский). Действительно, даже для такого крупного физика, каким являлся Я. И. Френкель, было небезопасным выдвигать столь далеко идущие аналогии. Ортодоксы, считающие явления микромира ничем и никак не связанными с другими явлениями природы, легко объявляют невеждами и вульгаризаторами всех, кто пытается подметить или использовать связь между микро- и макроявлениями.

9. ДОКАЗЫВАЕТ ЛИ ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ СУЩЕСТВОВАНИЕ «ЧАСТИЦЫ-ВОЛНЫ»?

1. Явление дифракции электронов считается в современной физике наиболее убедительным доказательством двойственной природы микрочастиц («частица-волна»). Действительно, поток электронов, направленный на кристаллическую решетку, неизменно показывает такой характер отражения, который в полной мере подчиняется закону интерференции волн.

Из того обстоятельства, что длина отраженной волны, подсчитанной из соотношения Брэгга, и соответствующая длина волны, определяемая из уравнения де Бройля, практически совпадают, был сделан окончательный вывод, что: «...волновая природа движущихся частиц перестала носить гипотетический характер и является количественно подтвержденным физическим фактом» (Г. Марк и Р. Вирль, Дифракция электронов, 1933, стр. 69). Таким образом, в современной теоретической физике господствует убеждение, что каждый электрон одновременно взаимодействует со многими узлами кристаллической решетки, т. е. ведет себя как волна, будучи в то же время частицей.

2. Принимая «волновую природу электрона», современная физика все же не может достаточно ясно и убедительно описать поведение дифрагирующих частиц. В частности, возникает вопрос (поднятый в свое время Эйнштейном), как ведут себя электроны после прохождения дифракционной решетки, т. е. в пространстве перед экраном. Если считать, что каждая частица «просачивается» через решетку в виде волны, т. е. разбивается на отдельные образования и затем в виде интерферирующих волн создает на экране светотеневые кольца, то подобного рода представление не подтверждается опытом, потому что каждый отдельный электрон попадает на

соответствующее дифракционное кольцо в виде частицы, а не в виде волны¹.

Но если пространство между решеткой и экраном заполнено частицами, а не волнами, то тем самым вопрос о причине появления на экране интерференционных колец, по существу, остается открытым, потому что интерферировать могут только волны, а не частицы. Следовательно, весьма радикальное представление о том, что якобы частица просачивается через решетку в виде волны, фактически себя не оправдывает и остается бесцельным, так как не может до конца раскрыть явление, для объяснения которого оно и было выдвинуто.

3. Итак, возникает вопрос, можно ли примирить все эти противоречия и одновременно объяснить столь необычное явление, каким нам кажется дифракция частиц? По нашему мнению, этого можно достигнуть, если принять во внимание, что частицы движутся не в пустом пространстве, а в среде, с которой они могут взаимодействовать.

Опираясь на эту точку зрения, проследим за поведением частицы, пролетающей через дифракционную щель. Прежде всего отмечаем, что движущаяся частица должна вызвать в среде соответствующие волны. По существу, это означает, что передача энергии идет здесь только в одном направлении, т. е. от частицы к среде. Однако могут возникнуть и такие случаи, когда часть затраченной энергии будет способна вновь вернуться к частице, если последняя встретит на своем дальнейшем пути волну, отраженную от какого-либо препятствия.

Явление дифракции как раз и представляет собою один из таких случаев. Частица, пролетая через щель, может встретиться с отраженной волной и получить от нее соответствующий импульс, особенно если она пролетает около края щели. Таким образом, участие волн в явлении дифракции частиц действительно имеет место, но это участие не есть первичное и непосредственное проявление «волновых свойств», якобы присущих самим частицам. Участие волн осуществляется здесь в виде вторичного (внешнего) воздействия, идущего от отраженных волн на движущийся объект.

Вообще говоря, мысль о воздействии края щели на отклонение частиц от своего прямолинейного пути не является новой. Создатель волновой механики де Бройль, говоря о

¹ В этом вопросе только Бор и Гейзенберг до конца придерживаются взгляда, что электрон в полном смысле является «частицей-волной», способной локализоваться лишь в самый момент попадания ее на экран. Именно здесь электрон якобы может проявить «свободу воли» (Бор).

своей теории «двойного решения», пишет: «...Я присоединился, таким образом, к идее инициаторов старой корпускулярной теории света, которые говорили, что при дифракции света на краю экрана частицы света испытывают влияние этого края и поэтому отклоняются от прямолинейного пути» («Вопросы философии», 1954, № 4).

4. Остается теперь показать, каким же образом взаимодействие частиц с отраженными волнами приводит, в конце концов, к явлению, которое получило наименование дифракции частиц. В настоящее время возникновение на экране светотеневых колец, образующихся от электронов, воспринимается как результат вполне очевидной и бесспорной интерференции каких-то волн («волн материи»). Можно, однако, отметить, что это не является единственным толкованием названного явления. Если по отношению к волнам светотеневая картина действительно получается благодаря взаимной интерференции волн, то по отношению к частицам такое же явление может возникнуть в результате резонансного воздействия на них со стороны возбужденной среды.

Кстати, было уже отмечено, что пространство между дифракционной решеткой и экраном заполнено частицами, а не волнами, поэтому именно для частиц мы обязаны искать те реальные условия, которые заставляют их после прохождения решетки располагаться по соответствующим кольцам.

5. Рассмотрим более подробно поведение частиц в момент прохождения ими дифракционной щели. Уже указывалось, что частица, пролетая около края щели, может натолкнуться на отраженную волну, получить от нее некоторый импульс и вследствие этого отклониться от своего первоначального пути. Но если это обстоятельство может объяснить более или менее беспорядочное рассеяние частиц, то как же понять их закономерное отклонение, которое наблюдается на опыте?

Это можно объяснить тем, что, в зависимости от энергии (скорости) частиц и от угла падения на кристаллические плоскости, частица может встретить целый ряд волн, отраженных от различных узлов решетки. Эти волны, в порядке закономерного (резонансного) воздействия на частицу, могут отбросить ее в каждый данный момент, на вполне определенный угол, соответствующий условиям опыта¹.

¹ Таким образом, частица действительно может взаимодействовать (получать отражение) от всей кристаллической решетки, но не потому, что она якобы является «частицей-волной», а потому, что здесь принимает участие промежуточный агент, т. е. среда.

Помимо этого, тот или иной угол отклонения частицы зависит от расстояния, на котором она пролетает от края щели. Так, например, частицы, пролетающие вблизи центра щели (отверстия), в меньшей степени подвергнутся смещению и поэтому должны дать центральное пятно, которое действительно наблюдается на опыте. Итак, в зависимости от целого ряда факторов, реально действующих в опытах по дифракции частиц, частицы могут получить такие закономерные (резонансные) импульсы со стороны отраженных волн, что в конечном результате заставит расположиться их по отдельным концентрическим кольцам.

6. Рассмотрим теперь вопрос о совпадении длин волн, вычисленных из соотношений Брегга и де Бройля, обратившись к одному типичному примеру из области дифракции электронов.

Известно, что в опыте Дэвиссона и Джермера максимальная интенсивность электронного пучка наблюдалась при угле рассеяния, равном 50° , и энергии электронов в 54 eV. Легко определить, что длина волны, соответствующая брегговскому отражению первого порядка ($n = 1$), окажется равной для данного случая $1,65 \text{ \AA}$. Эта же длина волны, найденная из соотношения де Бройля, получается равной $1,67 \text{ \AA}$.

Совпадение результатов, вычисленных двумя различными методами, казалось бы, наглядно подтверждает гипотезу де Бройля о волновых свойствах материи (частиц). Вместе с тем следует отметить, что физическая интерпретация обнаруженных волн материи оказалась чрезвычайно туманной и неясной. В частности, современная физика вынуждена утверждать, что скорости этих волн (фазовая скорость) превосходит скорость распространения света, что волны материи не несут энергии, что их особая природа не позволяет вычислить присущую им частоту из обычного соотношения

$$v = \frac{c}{\lambda} . \quad 1$$

Посмотрим, почему же современной физике потребовались столь далеко идущие утверждения?

Дело в том, что если волны де Бройля принять за обычные электромагнитные колебания, то должно выполняться соотношение $v = \frac{c}{\lambda}$, из которого для опыта Дэвиссона и

¹ Это соотношение признается правильным только в том частном случае, когда волны де Бройля распространяются с волновой скоростью ω , равной c .

Джермера можно получить

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^{10}}{1,67 \cdot 10^{-8}} \cong 1,8 \cdot 10^{18} \frac{1}{\text{сек}}.$$

В свою очередь,

$$E = h\nu = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 1,8 \cdot 10^{18}}{1,6 \cdot 10^{-12}} = 7450 \text{ eV}.$$

Но именно эта величина энергии никак не соответствует той энергии электронов (54 eV), которые участвуют в данном опыте.

Как же полученное несоответствие было истолковано в современной теории? В теории было признано, что волны де Бройля это «особые» волны, которые не подчиняются обычным правилам, и поэтому их частоту и энергию нельзя подсчитывать по существующим соотношениям.

7. Покажем, что если последовательно руководствоваться представлением о раздельном существовании вибраторов (частиц) и среды, то нет необходимости прибегать к особым толкованиям так называемых «волн материи».

Определим ту действительную длину волны, которую электроны вызывают в среде, двигаясь под напряжением 54 eV.

Применяя формулу (6), получаем

$$\lambda_{\text{среды}} = \frac{2h}{mv} \frac{c}{v} = \frac{2 \cdot 6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{9,11 \cdot 10^{-28} (4,35 \cdot 10^8)^2} = 230 \text{ \AA}.$$

Соответствующие частота и энергия волн получатся из соотношений

$$\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{230 \cdot 10^{-8}} = 1,3 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{сек}};$$

$$E = h\nu = \frac{6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 1,3 \cdot 10^{16}}{1,6 \cdot 10^{-12}} = 54 \text{ eV}.$$

Таким образом, энергия волнового движения среды вполне соответствует энергии электронов, которые вызвали возбуждение среды. Но что же в таком случае представляет собою величина λ , подсчитанная по формуле де Бройля?

Ранее было показано, что хотя в существующих подсчетах всегда предполагается, что λ означает длину некоторой «волны», но в действительности эта величина соответствует длине пути электронного вибратора за один оборот ($2\pi r = \pi d$) или за одно возвратно-поступательное качание ($4r = 2d$).

Но почему же получается столь хорошее количественное совпадение между соотношением Вульфа—Брэгга и формулой де Бройля?

На рис. 1 показано отражение двух рентгеновских лучей от кристаллической решетки. Длина пути второго луча больше длины пути первого луча на величину

$$CB + BD = 2d \sin \theta.$$

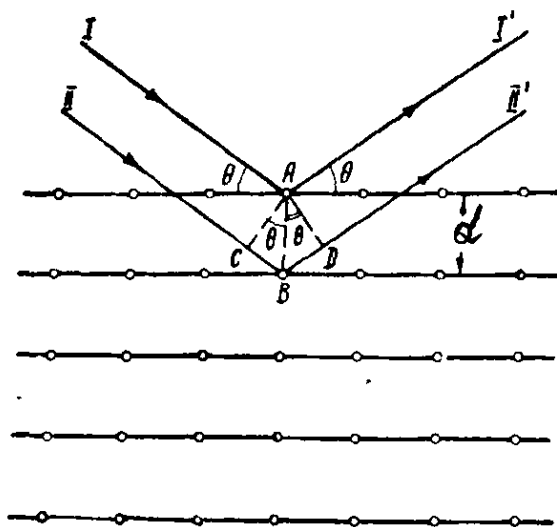


Рис. 1.

Исходя из волновых соображений, в настоящее время можно легко показать, что для первого порядка отражения рентгеновские лучи будут интерферировать, согласно выражению

$$CB + BD = 2d \sin \theta = \lambda,$$

где λ — длина волны интерферирующих лучей. Однако отражение названных лучей можно представить не только в волновой интерпретации, но и в корпускулярном (энергетическом) толковании¹.

Частица II, по сравнению с частицей I, совершит дополнительную работу на участке $CB + BD$.

¹ Этот вопрос рассматривается в современной литературе (см. М. А. Блохин, Физика рентгеновских лучей, 1953, стр. 298), но в типично квантовом изложении. Не отрицая этого изложения, мы даем здесь обычное (классическое) решение той же задачи.

Условно можно принять, что частица II отражается по своему первоначальному направлению; тогда

$$CB + BD = 2CB.$$

Обозначая $2CB$ через 2λ , напишем уравнение для кинетической энергии гармонического вибратора, колеблющегося на участке $CB - BC$:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m (2\lambda \nu)^2 = 2m\lambda^2 \nu^2.$$

Отсюда

$$\lambda = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}}.$$

Эта зависимость, написанная для вибратора с возвратно-поступательным движением, принципиально соответствует формуле (4), т. е., другими словами, равноценна соотношению де Бройля.

Таким образом, получаем

$$\lambda = 2d \sin \theta = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}} = \frac{h}{mv}.$$

Обращаясь еще раз к опыту Дэвиссона и Джермера, имеем:

$$\lambda = 2d \sin \theta = 2(2,15 \sin 25^\circ) \sin 65^\circ = 1,65 \text{ \AA};^1$$

$$\lambda = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}} = \frac{1}{1,3 \cdot 10^{16}} \sqrt{\frac{54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-28}}} = 1,67 \text{ \AA};$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{9,11 \cdot 10^{-28} \cdot 4,35 \cdot 10^8} = 1,67 \text{ \AA}.$$

Таким образом, сопоставление расчетов, произведенных по формуле Вульфа—Брегга и по формуле де Бройля, вовсе не говорит о том, что эти расчеты подтверждают «...волновые свойства электрона, что длина волны, связанной с электроном, по крайней мере, близка к той, которую дает выражение де Бройля».

В действительности, выражение де Бройля, как уже неоднократно указывалось, дает не длину волны, а длину пути вибратора за один цикл (т. е. πd или $2d$).

С этой точки зрения с формулой Вульфа—Брегга может быть сопоставлено не только соотношение де Бройля, но и

¹ Д. Странатан, Частицы в современной физике, 1949, стр. 515

равноценное ему выражение

$$\lambda = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}},$$

где $\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{средн}}}$,

а

$$\lambda_{\text{средн}} = \frac{2h}{m\nu} \frac{c}{\nu}.$$

В табл. 1 даны некоторые значения «длины волн электронов» в зависимости от ускоряющего потенциала (графы 1, 2, 3). В графах 4, 5 и 6 приведены наши расчетные значения действительной длины волны в среде, частоты колебаний волн и длины путей возвратно-поступательного движе-

Таблица 1

Энергия электронов eV	Скорость электронов $\nu = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$	Длина волны по де Бройлю $\lambda = \frac{h}{m\nu}$ в Å	Действительная длина волны в среде $\lambda_{\text{средн}} = \frac{2h}{m\nu} \frac{c}{\nu}$	Частота колебания волн $\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{средн}}}$	Линейный параметр «вибратора» $\lambda = l = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}}$ в Å
1	2	3	4	5	6
150	$7.25 \cdot 10^8$	1,0	82,8	$3,62 \cdot 10^{16}$	1,0
1 000	$18.75 \cdot 10^8$	0,388	12,4	$24,2 \cdot 10^{16}$	0,388
5 000	$42,00 \cdot 10^8$	0,173	2,48	$121 \cdot 10^{16}$	0,173
10 000	$59,10 \cdot 10^8$	0,122	1,24	$242 \cdot 10^{16}$	0,122

ния некоего вибратора. Сопоставление граф 3 и 6 показывает полное совпадение размаха (подскока) вибратора с «длиной волны» по де Бройлю¹.

8. Говоря о «волнах материи», современная физика утверждает, что не только микрочастицы, но и каждое движущееся макротело вызывает волны де Бройля с соответствующей длиной λ .

¹ Не трудно показать, что величины $\frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}}$ и $\frac{h}{m\nu}$ являются тождествами, если принять во внимание, что $\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{средн}}$.

Так, например, высчитывают, что мяч с массой 45 г, имеющий скорость $3 \cdot 10^3$ см/сек, должен вызвать «волну материи» с длиной λ , равной $4,9 \cdot 10^{-32}$ см. Столь ничтожная длина волны, естественно, не может быть обнаружена нашими средствами измерения, и именно отсюда делается вывод, что практически макротела не обладают волновыми свойствами.

Что же в действительности представляет собою величина, равная $4,9 \cdot 10^{-32}$ см? По существу, это условный параметр (размах) некоторого умозрительного вибратора, который обладает кинетической энергией данного мяча и частота колебания которого определяется по формуле $\nu = \frac{E}{h}$. Подсчитаем d (размах) этого умозрительного вибратора.

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{45(3 \cdot 10^3)^2}{2} = 2,02 \cdot 10^8 \text{ эрга};$$

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{2,02 \cdot 10^8}{6,62 \cdot 10^{-27}} = 3,06 \cdot 10^{34} \frac{1}{\text{сек}};$$

$$d = \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{E}{2m}} = \frac{1}{3,06 \cdot 10^{34}} \sqrt{\frac{2,02 \cdot 10^8}{2 \cdot 45}} = 4,9 \cdot 10^{-32} \text{ см.}$$

Что касается истинной длины волны, которую мяч может вызвать в эфире, то ее нельзя определить даже по формуле (6).

$$\lambda = \frac{2h}{mv} \frac{c}{v},$$

так как эта формула годна лишь для элементарных вибраторов, у которых соблюдается условие $mv^2 \nu = \text{const} = \frac{h}{4\pi^2}$.

В данном случае можно лишь предвидеть, что, благодаря чрезвычайно незначительной скорости мяча по отношению к скорости распространения возмущений в эфире, прямолинейное движение макротела возбуждит волны огромной длины, но с весьма низкой частотой. Мы не можем заметить эти волны, как не можем услышать звука при движении большой массы с очень малой скоростью.

9. Итак, можно ли из опытов по дифракции электронов выводить заключение, что электроны обладают волновыми свойствами и что их следует трактовать как некие «частицы-волны»? По нашему мнению, электроны действительно «обладают волновыми свойствами», но не в том буквальном смысле, что им самим присущи какие-то особые «волны материи», а в том, что они (как и всякие другие частицы и тела),

двигаясь в среде, неизбежно вызывают в этой среде — «эфире» — возмущения (волны).

Что касается движения макротел, то мы потому не можем заметить вызванных ими возмущений в «эфире», что эти возмущения обладают слишком низкой частотой и соответственно слишком большой длиной волны¹.

10. О СООТНОШЕНИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

1. Опыты с дифракцией электронов и представление о том, что «...электрон подобно волне отражается от целой кристаллической решетки, а не от отдельного атома» (А. Д. Александров, Вестник ЛГУ, 1949, № 4), естественно возбудили интерес к этому необычному явлению. Дело в том, что нелегко представить себе частицу, которая в некоторых случаях ведет себя как волна и в то же время остается частицей.

Следует отметить, что представление о «частице-волне» получило существенную идеологическую опору в так называемом принципе неопределенностей. Вооружившись этим принципом, в современной физике, по существу, перестали удивляться столь странному и непонятному сочетанию, которое представляет собою «частица-волна». Оказывается, принцип неопределенностей авторитетно свидетельствует о том, что так оно и должно быть. Этот принцип отрицает «обязательное наличие у электрона одновременно точно определенного положения и скорости», он «вскрывает качественно своеобразную природу атомных явлений», утверждает, что положение электрона, «по самой природе вещей, оказывается неточным» и т. д. (А. Д. Александров).

Таким образом, само по себе необычное явление дифракции электронов в настоящее время многие физики не считают загадочным; наоборот, опираясь на принцип неопределенностей, они признают полную возможность и даже неопровержимость «корпускулярно-волновой природы электрона», якобы вытекающую из самих законов природы.

2. В предыдущей главе было показано, что критическое рассмотрение дифракции электронов вовсе не говорит в пользу существования «частицы-волны». Можно показать, что и соотношение неопределенностей неправомочно оправдывать таинственное поведение микрочастиц, якобы обладающих

¹ Если взять, к примеру, весьма высокочастотный макровибратор, каким является, скажем, турбина Лавала ($n = 30000$ об/мин), то при работе этого «вибратора» волны, возникшие в эфире, будут иметь λ , равную 600 км. Подобного рода возмущения в среде нельзя заметить с помощью существующих приемных устройств.

сверхособыми свойствами¹. Дело заключается в том, что соотношение неопределенностей не есть закон, который свое заметное действие будто бы проявляет только в области атомных явлений. В действительности этот закон, при соблюдении соответствующих условий, имеет одинаковое отношение как к микро-, так и к макрообъектам. Таким образом, ссылаясь на этот закон, нельзя оправдывать неповторимую специфику микроявлений или приписывать этим явлениям характер абсолютной исключительности.

3. Итак, выведенное Гейзенбергом соотношение неопределенностей

$$\Delta x \Delta p_x > \frac{\hbar}{2\pi} \quad (14)$$

констатирует, что у микрочастицы нельзя одновременно получить сколь угодно точное значение координаты и импульса, так как произведение $\Delta x \Delta p_x$ не может в пределе стремиться к нулю, а всегда равно конечному числу $\frac{\hbar}{2\pi}$.

В противовес этому говорится, что «...для макроскопических частиц вполне характерна возможность точно определить в каждый момент времени ее положение и импульс» (Э. В. Шпольский, Атомная физика, т. I, 1949, стр. 416). Таким образом, в отношении измерений некоторых параметров микро- и макрообъектов в настоящее время признается принципиальное различие в степени точности этих измерений, поскольку для микрочастиц практически не существует ограничения при измерении их местоположения и импульса, а для микрочастиц устанавливается вполне определенная граница, которая физически кладет предел точности измерений.

По нашему мнению, такое толкование соотношения неопределенностей не соответствует действительности, так как при любом измерении как в микро-, так и в макромире мы обязаны руководствоваться одним и тем же принципиальным правилом: *во время измерений тех или иных параметров не следует воздействовать на измеряемый объект больше, чем это допускается по смыслу данной операции.*

Именно это требование устанавливает и предопределяет истинный характер и внутреннее содержание соотношения неопределенностей (как для микро-, так и для макроизмере-

¹ Мы неоднократно отмечали, что, признавая качественное различие между микро- и макрообъектами, вместе с тем нельзя эти объекты наделять абсолютно противоположными чертами и не видеть между ними той или иной связи.

ний), и ничего другого в этом соотношении нет и не может быть.

4. Обсудим этот вопрос с помощью следующего умозрательного эксперимента. Представим себе, что по абсолютно гладкой поверхности движется с некоторой скоростью бильярдный шар A , не испытывая какого-либо трения. Желая в каждый данный момент определить его местоположение и скорость, мы в качестве анализаторов (измерителей) используем такие же шары, направляя их с определенной скоростью перпендикулярно к линии движения шара A . Возьмем сначала скорость «анализаторов», значительно меньшую скорости шара A . Встретив на своем пути «шары-анализаторы», шар A оттолкнет их и, когда они придут к исходной линии, то по времени нахождения их в пути и по их отклонению от первоначальной траектории можно будет судить о скорости и местонахождении шара A .

Но если первый параметр (скорость) будет нами определен более или менее точно, то местоположение шара A , благодаря малой скорости «анализаторов», фактически нельзя определить строго для каждого момента времени. Мы можем лишь отметить, что столько-то времени тому назад шар A находился в одном месте, а сейчас он успел передвинуться в другое место, причем эта неточность местоположения шара A (где он был раньше и где он находится сейчас) окажется тем больше, чем скорость «анализаторов» будет меньше. Как же повысить точность определения координаты шара A в каждый данный момент? Для этого необходимо повысить скорость «шаров-анализаторов». Чем выше будет эта скорость, чем быстрее вернется «шар-анализатор» к наблюдателю, тем точнее удастся определить местонахождение шара A в данный момент.

Однако при увеличении скорости «анализаторов» придется учитывать резкое увеличение их энергии (пропорционально квадрату скорости), вследствие чего шар A при столкновении с «шарами-анализаторами» может в значительной степени изменить свою скорость. Таким образом, выигрывая в точности определения координаты, мы в данном случае будем проигрывать в точности определения импульса (скорости) шара A .

На основании только что сказанного можно следующим образом сформулировать те общие требования, которые необходимо выполнить для точного и одновременного определения координаты и скорости шара A .

Необходимо иметь:

1) возможно более высокую скорость «шаров-анализаторов»;

2) возможно низкую энергию тех же «анализаторов».

Легко видеть, что для выполнения этих, по существу, взаимно исключających требований необходимо в виде «анализаторов» выбирать объекты с минимальной массой, так как в этом случае высокая скорость «анализаторов» не будет сопровождаться их слишком большой энергией. Аналитически это же самое требование можно записать в виде неравенства:

$$\frac{Mv^2}{2} \text{ шара } A \gg \frac{mv^2}{2} \text{ шара-анализатора} \quad (15)$$

или

$$E \text{ шара } A \gg E \text{ шара-анализатора.} \quad (16)$$

Наилучшее выполнение неравенств (15) и (16) для макрообъектов (например, для бильярдного шара A) можно получить в том случае, если в качестве «анализатора» взять луч света. Фотоны, обладая громадной скоростью по сравнению со скоростью шара A , в то же время не способны изменить его энергию (скорость), поэтому местоположение и импульс движущегося бильярдного шара будут одновременно определены с высокой точностью (практически идеально).

5. Итак, при одновременном измерении координаты и скорости макрообъекта мы совершенно не замечаем существования «соотношения неопределенностей», так как в нашем распоряжении имеется чрезвычайно «тонкий» анализатор (свет), который не способен механически воздействовать на движущийся макропредмет¹.

Посмотрим, можно ли создать такие же условия измерения для элементарных частиц (например, для электронов)?

Зная, что

$$h = \frac{E}{\nu} \quad \text{и} \quad p_x = mv_x,$$

произведем соответствующее преобразование соотношения Гейзенберга (14).

¹ «Нечувствительность» макрообъектов к соотношению неопределенностей объясняется в современной физике ничтожной величиной кванта действия h по сравнению с огромной энергией макропредметов. Однако существо дела заключается в том, что нельзя одновременно измерить координату и скорость любого тела и любой микрочастицы, пренебрегая неравенствами (15), (16). Энергия «анализаторов» должна быть во много раз меньше энергии соответствующего объекта как при микро-, так и при макроизмерениях.

Имеем

$$hmv_x > \frac{E}{2\pi\nu}$$

или

$$hmv_x 2\pi\nu > E.$$

Пользуясь равенством $\nu = \frac{v_x}{2\pi x}$,
получаем

$$mv_x^2 > E. \quad (17)$$

Другими словами, соотношение неопределенностей Гейзенберга, по существу, представляет собою требование, которое в своем принципиальном выражении уже записано в неравенствах (15) и (16).

И для микрочастицы (для одновременного и точного измерения ее координаты и импульса) необходимо выполнить то же самое требование, которое, как мы видели, является обязательным для макрообъектов. Но можно ли это требование столь же легко удовлетворить для электрона, как и для бильярдного шара? Безусловно нет, так как для микрочастицы и фотон может оказаться слишком энергичной частицей, способной изменить ее скорость².

Таким образом, в соотношении Гейзенберга нет ничего специфического, оно никак не может претендовать на особую роль в явлениях микромира и с помощью этого соотношения нельзя доказать, что электрон есть «частица-волна».

II. ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ПОНЯТИЕ «КВАНТА ЭНЕРГИИ» СПЕЦИФИКОЙ МИКРОМИРА?

1. В настоящее время считается, что одно из самых специфических явлений микромира заключается в дискретности (прерывности) энергетического состояния микрочастиц. Другими словами, энергия микрочастиц может отдаваться и поглощаться только порциями (квантами). Величина кванта энергии может быть различной, зависящей от частоты колебания ν , т. е.

$$E = h\nu. \quad (18)$$

¹ Для вибраторов данное неравенство должно быть записано в виде $4\pi^2 m r^2 \nu^2 > E$.

² Однако этим не закрывается путь для дальнейших возможностей в данном направлении. Уже сейчас известны частицы, которые имеют меньшую массу, чем масса электрона. Таким образом, одновременное измерение (с той или иной точностью) координаты и импульса электронов — это, по существу, дело времени. Никаких принципиальных запретов в этой области существовать не может.

2. Ввиду того, что в численную характеристику кванта энергии входит постоянная Планка h , которая признается универсальной величиной, т. е. способной удовлетворять любым колебательным (и вращательным) движениям, квантовый характер колебаний и вращений, как уже говорилось, в принципе распространяется современной физикой и на макромир.

3. Подобного рода допущение фактически приводит к тому, что микроквантовые законы признаются более общими, чем классические законы. Разница между ними якобы заключается в том, что в микроявлениях нельзя пренебрегать прерывностью (порциями) энергии, в то время как в макромире, благодаря огромным движущимся массам, общая энергия объектов настолько велика, что в ней практически теряется то «квантовое» начало, которое представлено соотношением (18).

4. В только что приведенных суждениях современной физики скрывается весьма существенная неточность, которая вопрос о квантовом состоянии макроявлений уводит от их действительного содержания.

Неправильно распространяя «микрокванты» на макрообъекты, современная физика не увидела того, что в макромире имеются свои, не формальные, а естественные и практически заметные «кванты», которые в определенной степени роднят явления макро- и микромиров, связывают их достаточно реальными аналогиями и именно поэтому нельзя согласиться с утверждением, что: «...гипотеза квантов решительным образом противоречит всему духу классической физики» (Э. В. Шпольский), что: «...корней новых понятий нет в представлениях классической физики» (А. Ф. Иоффе) и т. д.¹

¹ В данном вопросе утверждения современной физики не являются последовательными. С одной стороны, говорится о решительных противоречиях между квантовыми и классическими явлениями, о том, что квантовых понятий нет в представлениях классической физики и т. д. и т. п., а с другой стороны, признавая квант действия h мировой постоянной, фактически утверждается, что и макромир в принципе живет по микроквантовым законам.

Но в чем же тогда заключается качественное различие между этими мирами, если разница между ними сводится к величине кванта энергии $h\nu$? Где тот критерий, по которому можно было бы судить, что от явления микромира мы переходим к явлению макромира или наоборот? В действительности, критерием перехода одних явлений в другие служит не величина $h\nu$, а само существование h . Если h существует (в случае выполнения определенного соотношения между параметрами движущегося объекта, т. е. $r^2v = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{4\pi^2 m}$), то это характеризует взаимоотношения между микрочастицами: если равенство $r^2v = \frac{h}{4\pi^2 m}$ не выполняется, то это признак макроявлений.

5. Если следовать принципиальному определению кванта энергии, как некоторой порции (доли, части) энергии, способной передаваться от одного тела к другому, то и в макромире можно зарегистрировать бесчисленное множество случаев, когда энергия передается (воспринимается) отдельными порциями (например, удар молотка, порыв ветра, падение капли дождя, действие морской волны, каждое качание маятника, каждый другой периодический или случайный удар, толчок, нажим, падение и т. д. и т. п.).

Конечно, «кванты» макромира имеют другое количественное и качественное выражение, их нельзя вычислить с помощью тех же самых коэффициентов, которые оправдали себя в микроявлениях (h), но с принципиальной стороны макромир живет тоже в условиях возникновения и осуществления всевозможных скачков энергии, но только не таких, которые свойственны явлениям микромира¹.

6. Еще раз возвращаясь к квантам микромира, обсудим те физические предпосылки, которые могли бы помочь нам разобраться в этом явлении. До сих пор считается непонятным тот факт, что атом вместо того, чтобы непрерывно поглощать и также непрерывно отдавать энергию, почему-то заимствует и излучает ее отдельными порциями (квантами). Как понять это явление? Что заставляет атом проявлять свою активность только в отдельные промежутки времени? В каком состоянии он находится между своими излучениями («вспышками») и т. д. и т. п.?

¹ Еще раз приходится отметить, что основное и принципиальное заблуждение современной физики именно и заключается в том, что она верит в мировую постоянную h . Как с точки зрения квантовой механики происходит качание макромаятника? Если маятник имеет два колебания в секунду, то его «квант энергии» оценивается величиной

$$E = h\nu = 6,62 \cdot 10^{-27} \cdot 2 = 1,3 \cdot 10^{-26} \text{ эрга.}$$

Что это значит? Это значит, что минимальной порцией энергии данного маятника является величина $1,3 \cdot 10^{-26}$ эрга, которую практически мы заметить не можем. Но где и в чем эта энергия проявляет себя теоретически? Если внимательно продумать этот вопрос, то никакого реально оправданного ответа получить не удастся. Почему? Потому что в названной проблеме с самого начала заложены неверные и ничем не оправданные предпосылки. Дело в том, что здесь взаимоотношения между электроном и ядром (что характерно для явлений микромира) механически навязываются макротелам, у которых колебание в поле земного тяготения сильно отличается от колебания электрона относительно ядра. Если для электрона

$$\frac{4\pi^2 m r^2 \nu^2}{\nu} = h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.},$$

то отношение $\frac{4\pi^2 M R^2 \nu^2}{\nu}$ у макромаятников никогда не может иметь значения h .

Ввиду того, что никакой аналогии этому явлению все еще не найдено, оно признано не только «особенным», но и загадочным явлением микромира. Однако поведение элементарных частиц, согласно общим законам природы, не может быть абсолютно иным, возникшим вне всякой связи с другими явлениями природы. Обладая своими индивидуальными чертами, явления микромира не могут рассматриваться нами в полном отрыве от других явлений природы. Наоборот, их непонятную особенность гораздо легче раскрыть, если обратиться, например, к соответствующим явлениям макромира¹.

7. Представим себе гладкий, хорошо уравновешенный вращающийся вал, скрытый под некоторым слоем воды. Хотя энергия вращения вала может иметь весьма значительную величину ($E = \frac{I\omega^2}{2}$), однако для исследователя, наблюдающего состояние поверхности воды, этот вал может показаться неподвижным, так как он не вызывает в окружающей его среде заметных возмущений (колебаний). Повышая, однако, число оборотов вала, можно вызвать в нем достаточно резкую вибрацию, когда он войдет в режим резонанса. В этот момент наблюдатель регистрирует на поверхности воды появление «ряби», что он свяжет с представлением о механическом «излучении» энергии со стороны вала. Продолжая увеличивать число оборотов вала, можно, вообще говоря, наблюдать повторяющиеся возмущения среды, связанные с повторением резонанса при определенных (обертонных) оборотах вала. Таким образом, непосредственный опыт может показать, что макрообъект, вращающийся в среде, вполне заметно воздействует на среду только в определенные моменты времени, т. е. прерывно. Следовательно, нельзя категорически утверждать, что «...прерывность совершенно чужда классическим теориям» (Н. Бор).

8. В чем же заключается разница между механическим спектром и спектром излучения атомного вибратора? Процитируем по этому вопросу заключение Э. В. Шпольского: «Характерная особенность механического спектра состоит в том, что в него входят основная частота ν_0 и ее гармонические обертоны, т. е. если изобразить спектр в шкале частот, то получится ряд равноотстоящих линий... спектры, обусловленные движением электронов, совершенно не следуют этому закону: в них линии довольно быстро сближаются по

¹ Говоря о «соответствующих» явлениях, мы не имеем в виду тождественных явлений, так как между процессами микро- и макромиров нельзя поставить знака равенства.

мере перехода ко все более высоким частотам вплоть до полного слияния» (Атомная физика, том I, 1949, стр. 217). По нашему мнению, фактическая разница между механическим и атомарным спектрами вызвана тем, что механические устройства (например, вращающийся вал или колеблющаяся струна) во все моменты своего испытания, связанные с явлением резонанса, практически не меняют своей жесткости, именно поэтому на них действуют только основная частота и ее гармонические обертоны (2 ν , 3 ν , 4 ν и т. д.). Что касается системы электрон—ядро, то в этой системе жесткость сильно зависит от расстояния между взаимодействующими объектами.

В свое время С. И. Вавилов писал: «Блестящее использование резонанса для объяснения дисперсии света в веществе и рассеяния света дало этой идее такую опору, которая твердо выдерживает и до наших дней бурный натиск новых фактов» (УФН, том IV, вып. I, 1924 г.). С нашей точки зрения идея резонанса должна быть шире использована при обсуждении многих неясных сейчас явлений микромира (см. главу 13).

9. Гейзенберг развивает теорию о том, что частицы материализуются только в момент их наблюдения, что они проявляют себя мимолетным образом, что никаких сведений о частице между моментами измерений мы иметь не в состоянии, следовательно, частицы (материя) как бы в эти промежутки времени не существуют и т. д. и т. п. Можем ли мы, однако, утверждать, что вращающийся вал не существует, коль скоро на поверхности воды мы не замечаем признаков волнения, связанных с вращением вала, и что он начинает «материализоваться» только в периоды резонанса? Не трудно заметить, что в этом рассуждении грубо смешана правда с выдумкой.

Если бы существовали приборы, которые могли бы фиксировать разовые колебания частиц, то было бы не трудно все время наблюдать за их поведением. К сожалению, современные приборы могут улавливать только моменты резонансных колебаний частиц и волн, однако это обстоятельство никак не может оправдать ложного впечатления, что «...если частицы не наблюдаются, то они не существуют» (Гейзенберг).

10. В заключение поставим вопрос о физическом смысле кванта энергии, характеризуемого соотношением $E = h\nu$.

По современным понятиям эту энергию имеет «фотон», как известно, обладающий свойствами частицы. Однако «фотонная теория» (Эйнштейн) не является строго корпускулярной, так как она использует понятие частоты, имеющее волновое происхождение. Именно здесь, как говорил С. И. Ва-

вилов, начинается «вопиющее противоречие понятия световых квантов основным фактам оптики» (УФН, том IV, вып. I, 1924 г.). И в самом деле, как представить себе частицу (фотон), которая «летит» и в то же время вся ее энергия сосредоточена в колебаниях ($E = h\nu$). «Непостижимость» такой частицы как раз и заключается в том, что реальные свойства среды (возможность ее колебательного движения) современная физика приписала самой частице. В действительности существует не этот странный гибрид «частица-волна», а движущаяся частица с кинетической энергией $\frac{1}{2}mv^2$ и соответствующее этой энергии возбуждение среды, что и приводит к математическому равенству

$$\frac{1}{2}mv^2_{\text{частицы (фотона)}} = h\nu_{\text{среды}}$$

или в случае колебательного движения

$$2\pi^2mr^2\nu^2_{\text{частицы}} = h\nu_{\text{среды}}$$

11. Вместо того, чтобы принять соотношение

$$\nu_{\text{вibrатора}} = \nu_{\text{среды}},$$

современная физика, не учитывая прямой и непосредственной роли среды, фактически строит свои расчеты на некоторых косвенных показателях.

Так, например, в уравнении Шредингера ведущую роль играет так называемая волновая функция ψ . Хотя до сих пор неизвестно, относится ли эта функция к статистическому ансамблю (Д. И. Блохинцев) или она характеризует состояние отдельной частицы (В. А. Фок), или, наконец, «... ψ -функция характеризует свойства, присущие электрону... через реальные возможности результатов взаимодействия электрона с другими объектами» (А. Д. Александров) и т. д.— определение этой величины считается единственной возможностью объективно оценить параметры корпускулы по ее «волновым свойствам».

Но если бы было принято, что частицы и волны, хотя и связаны друг с другом, но физически существуют раздельно, то разработанный сейчас сложный математический аппарат мог бы несомненно значительно упроститься. В этом отношении следует высказать сожаление, что де Бройль не довел своей мысли до логического конца, когда он в 1924 году утверждал, что: «...частица в каждый момент должна занимать определенное положение в пространстве, иметь опреде-

ленную скорость и, следовательно, с течением времени описывать траекторию. Но я также был убежден и в том, что с частицей связано какое-то периодическое и волновое явление, позволяющее определить его характеристики, т. е. соответствующую частоту и длину волны» (Сб. Вопросы причинности в квантовой механике, 1955, стр. 19).

В действительности упомянутое де Бройлем периодическое и «волновое явление» и есть то возбуждение среды, которое он воспринял как отвлеченное понятие о «волнах материи».

Что касается существующих расчетов, то они, повидимому, должны быть не только упрощены, но и получены более высокую точность. С нашей точки зрения это можно показать в первую очередь при расчете параметров атома водорода (см. стр. 52—61).

12. РАСШИФРОВКА НЕКОТОРЫХ КВАНТОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ И КОНСТАНТ

1. Современные квантовые расчеты совершенно невычислимы без использования кванта действия h . Признавая огромную заслугу М. Планка, который открыл эту важнейшую величину, все же надо отметить, что постоянная Планка, во-первых, не является мировой постоянной и, во-вторых, она может быть выражена не только через $\frac{E}{\nu}$, но и с помощью других параметров, а именно:

$$h = \frac{E}{\nu} = 4\pi^2 m r^2 \nu = \frac{m v^2}{\nu}. \quad (19)$$

По существу это вытекает из того обстоятельства, что частота ν , входящая в определение h , соответствует частоте элементарного вибратора, как об этом трактовала первоначальная теория Планка.

2. Пользуясь выражением (19), можно следующим образом преобразовать некоторые квантовые зависимости и константы.

1. Соотношение де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{m v}$$

или

$$\frac{v}{\nu} = \frac{h}{m v}.$$

Делая соответствующие замены, получаем

$$\frac{2\pi r v}{v} = \frac{h}{mv} = 2\pi r.$$

Это согласуется с тем, о чем говорилось раньше: по формуле де Бройля можно вычислить не длину волны λ некоего волнового движения, а радиус того вибратора, который вызывает соответствующую длину волны λ в среде, где

$$\lambda_{\text{среды}} = \frac{2h}{mv} \frac{c}{v}.$$

Таким образом, соотношение де Бройля фактически является зашифрованным выражением гармонического вибратора, так как

$$\lambda = 2\pi r = \frac{h}{mv},$$

что в свою очередь равно

$$2\pi r m 2\pi r v = \frac{E}{v},$$

$$4\pi^2 m r^2 v^2 = E.$$

II. Постоянная Шредингера

$$\frac{8\pi^2 m}{h^2} = 1,639 \cdot 10^{27} \text{ эрг}^{-1}.$$

Заменяя h , имеем

$$\frac{8\pi^2 m v^2}{m v^2 m v^2} = \frac{8\pi^2 v^2}{4\pi^2 r^2 v^2 m v^2} = \frac{2}{r^2 E}.$$

Подставляя вместо r радиус первой орбиты электрона и вместо E удвоенный ионизационный потенциал атома водорода, получаем

$$\frac{8\pi^2 m}{h^2} = \frac{2}{r^2 E} = \frac{2}{(0,53 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 2 \cdot 13,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} = 1,639 \cdot 10^{27} \text{ эрг}^{-1}.$$

III. Постоянная тонкой структуры

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{hc}{2\pi e^2} = 137,03,$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{m v^2 c}{2\pi m v^2 r} = \frac{c}{2\pi r v} = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2,188 \cdot 10^8} = 137,03.$$

Некоторые авторы с расшифровкой этой постоянной связывают далеко идущие ожидания. Так, например, М. П. Брон-

штейн пишет: «Проблема объяснения числа 137,03 есть проблема объяснения существования и устойчивости электрона, т. е. в некотором смысле проблема структуры электрона» (Строение вещества, 1935, стр. 206). Однако А. Зоммерфельд, исходя из третьего закона Кеплера, уже давно показал, что

$$\alpha = \frac{v_1}{c} = \frac{2\pi e^2}{ch}$$

(Строение атома и спектры, 1926, стр. 258).

Тем не менее эта расшифровка постоянной тонкой структуры до сих пор не получила должной оценки.

IV. Магнетон Бора

$$\beta = \frac{eh}{4\pi mc} = 0,9273 \cdot 10^{-20},$$

$$\beta = \frac{emv^2}{4\pi mcv} = \frac{ev2\pi r v}{4\pi cv} = \frac{v}{c} \frac{er}{2}.$$

Подставляя вместо v скорость электрона на первой орбите и вместо r радиус электрона на той же орбите, получаем

$$\beta = \alpha \frac{er}{2} = 7,2981 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4,8 \cdot 10^{-10} \cdot 0,53 \cdot 10^{-8}}{2} = 0,927 \cdot 10^{-20}.$$

V. Комптоновская длина волны

$$\Delta = \frac{h}{mc} = 0,02427 \cdot 10^{-8} \text{ см},$$

$$\Delta = \frac{mv^2}{mcv} = \frac{v}{c} \frac{2\pi r v}{v} = 2\pi r \alpha$$

или

$$\Delta = 2\pi r \alpha = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,53 \cdot 10^{-8} \cdot 7,2981 \cdot 10^{-3} = 0,02427 \cdot 10^{-8} \text{ см}.$$

VI. Первая константа излучения

$$C_1 = 8\pi h c = 4,99 \cdot 10^{-15} \text{ эрг. см},$$

$$C_1 = \frac{8\pi E \lambda v}{v} = 8\pi E \lambda.$$

Подставляя вместо E ионизационный потенциал атома водорода и вместо λ предельную (минимальную) длину волны серии Лаймана, получаем

$$C_1 = 8\pi E \lambda = 8 \cdot 3,14 \cdot 13,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \cdot 912 \cdot 10^{-8} = 4,98 \cdot 10^{-15} \text{ эрг. см}.$$

$$C_2 = \frac{hc}{k} = 1,438 \text{ см. град.}$$

$$C_2 = \frac{m_0^2 \lambda v}{k v} = \frac{E \lambda}{k} = \frac{13,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12} \cdot 912 \cdot 10^{-8}}{1,38 \cdot 10^{-16}} = 1,438 \text{ см. град.}$$

3. Что показывают в принципе только что выполненные преобразования? Они показывают, что квантовые соотношения можно выразить не только через h , но и через другие предельные величины (r_1 , v_1 , E_1 и т. д.)¹.

В такие константы, как магнетон Бора и комптоновская длина волны, удается ввести постоянную тонкой структуры α , которая в свою очередь представляет собою не что иное, как отношение скорости водородного электрона на первой орбите к скорости света. Все это показывает, что квант действия h не есть мировая постоянная, годная для характеристики любых колебательных процессов. В действительности его численное значение обусловлено соотношением вполне определенных параметров атома водорода (таких, например, как масса электрона m , радиус орбиты электрона на первом уровне, частота колебаний электрона на том же уровне и т. п.). Именно поэтому выполняются нижеследующие частные равенства, характеризующие численное значение величины h :

$$4\pi^2 m r^2 v = h = 4 \cdot 3,14^2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-28} (0,53 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 6,56 \cdot 10^{15} = \\ = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг.сек,}$$

¹ Поскольку в современной физике величины r и v получены с помощью h , казалось бы, нет ничего удивительного в том, что само h может быть выражено через названные параметры. Но это можно сделать только при условии, что

$$\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{среды}}$$

Однако хорошо известно, что эта важнейшая зависимость не фигурирует в расчетах квантовой физики, поскольку «волны материя» не были отождествлены с волнами среды («эфира»).

Именно поэтому h выражалось только через $\frac{E}{\nu}$, в то время как ее полная зависимость не находила себе применения. В действительности

$$h = \frac{E}{\nu} = 2\pi^2 m r^2 v,$$

что дает прямую связь постоянной Планка не только с E и ν , но и с массой электрона m и радиусом вибратора r . Использование этой связи и дает возможность расшифровать все зависимости и константы, в которые входит h .

$$\frac{mv^2}{v} = h = \frac{9,11 \cdot 10^{-28} \cdot (2,18 \cdot 10^8)^2}{6,56 \cdot 10^{15}} = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.},$$

$$\frac{E}{v} = h = \frac{2 \cdot 13,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}{6,56 \cdot 10^{15}} = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек. } ^1$$

В нашем обычном мире, благодаря его большим масштабам, мы не замечаем ощутимого изменения взаимодействия между Землей и телом, поднятым на ту или иную практическую высоту. Что касается микрочастиц, то они существуют в условиях достаточно резкого изменения соответствующих взаимодействий, поэтому в микромире обнаруживаются такие явления, которые практически остаются незаметными в макромире. В частности, соотношение

$$r^2 v = \frac{6,62 \cdot 10^{-27}}{4\pi^2 m}$$

действительно только для электрона, находящегося в поле атомного ядра. Никакие макрообъекты не способны следовать названному соотношению.

13. О РАСЧЕТЕ АТОМА ВОДОРОДА

1. Известно, что расчет атома водорода был впервые произведен Бором, когда он предложил свой квантовый постулат в виде добавления к существовавшей ранее формуле

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e(ez)}{r^2}, \quad 2 \quad (20)$$

¹ В действительности только что написанные равенства должны содержать другие значения r_1 и v_1 (см. следующий раздел), поэтому численное значение h будет соответствовать следующим соотношениям:

$$2\pi^2 m r^2 v = h = 2 \cdot 3,14^2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-28} (1,06 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 3,29 \cdot 10^{15} = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.},$$

$$\frac{mv^2}{2v} = h = \frac{9,11 \cdot 10^{-28} \cdot (2,18 \cdot 10^8)^2}{2 \cdot 3,29 \cdot 10^{15}} = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.},$$

$$\frac{E_{кин}}{v} = h = \frac{13,54 \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}}{3,29 \cdot 10^{15}} = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ эрг. сек.}$$

² Последующее решение этой задачи с помощью уравнения Шредингера, по существу, не изменило количественных соотношений, полученных Бором. Введенное понятие «о волновых свойствах электрона» (де Бройль) хотя и сопровождалось новым представлением о поведении электрона, однако принципиальная суть данного вопроса не была выяснена до конца. Как уже отмечалось, в настоящее время свойства среды фактически приписаны самой частице («частица-волна»), что в большой степени затрудняет правильное представление о действительных событиях, происходящих в области микроявлений.

Можно, однако, показать, что имеется определенная возможность уточнить существующие расчеты атома водорода, если исходить из наличия среды и реального соотношения между средой и элементарным вибратором.

2. Принимая, что

$$v_{\text{вибратора}} = v_{\text{среды}}$$

произведем соответствующее преобразование постулата Бора с целью некоторой корректировки так называемого квантового числа n , играющего большую роль в современных расчетах атома водорода.

Имеем

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (21)$$

или

$$2\pi mvr = nh = n \frac{E}{v}$$

Ввиду того, что

$$2\pi r v = v,$$

получаем

$$mv^2 = nE. \quad (22)$$

3. О чем говорит преобразованный постулат Бора? Он говорит о том, что изменение общей энергии электрона носит прерывный характер, так как коэффициент n равен (по Бору) последовательному ряду натуральных чисел 1, 2, 3, 4 и т. д. Но именно в этом обстоятельстве ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$ и т. д.) и скрывается определенное допущение, которое следовало бы подкрепить фактами.

И в самом деле, почему n меняется по закону натуральных чисел? Если обсуждаемый здесь вопрос рассматривать с принципиальных позиций, то прерывный характер излучения атомов водорода, вообще говоря, сохранится и в том случае, если n будет иметь значение 1, 3, 5, 7 и т. д. или 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ и т. д.

С нашей точки зрения для правильного решения данного вопроса (т. е. вопроса о величине тех ступеней, которые отображают прерывный характер излучения атомов водорода) надо обратиться к непосредственным фактам, т. е. к самому спектру водорода. Действительно, сам этот спектр показывает, что, во-первых, излучение совершается прерывно и, во-вторых, количественная оценка прерывности также должна вытекать из самого спектра, поскольку опти-

ческая частота каждой спектральной линии отличается от другой на некоторую величину (ступень).

Итак, зная, что

$$\nu_{\text{среды}} = \nu_{\text{вибратора}},$$

имеем

$$\nu_{\text{вибратора}} = 2\pi r \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}}. \quad (23)$$

С другой стороны, уже давно известна зависимость Бальмера

$$\lambda_{\text{среды}} = \frac{1}{R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}. \quad (24)$$

Подставляя (23) и (24) в (22), получаем

$$m\nu \cdot 2\pi r c R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = nE$$

или

$$m\nu \cdot 2\pi r \nu \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = nE,$$

откуда

$$m\nu^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = nE. \quad (25)$$

Но из последнего равенства следует, что

$$n = \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (26)$$

Таким образом, энергия электрона должна меняться не по закону натуральных чисел, как это было принято в постулате Бора, а по закону обобщенного коэффициента Бальмера. Именно этот коэффициент вполне достоверно характеризует те скачки, которые имеют место между частотами отдельных (спектральных) излучений.

4. Исходя из предыдущего, можно предложить следующие основные формулы для расчета параметров атома водорода:

$$\frac{1}{2} m\nu_n^2 = E_{\text{иониз}} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (27)$$

$$\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{среды}} = \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}}. \quad (28)$$

Ввиду того, что ионизационный потенциал атома водорода ($E_{\text{иониз}}$) в настоящее время найден из опыта, из формулы (27) можно определить v электрона¹

$$v_n = \sqrt{\frac{2E_{\text{иониз}} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}{m}}. \quad (29)$$

Зная v_n и ν_n , можно найти

$$r_n = \frac{v_n}{2\pi\nu_n}. \quad (30)$$

Что касается $\lambda_{\text{среды}}$, то эта величина может быть теоретически выражена через радиус вибратора с учетом скорости распространения возмущения в среде (c), т. е.

$$\lambda_{\text{среды}} = 2\pi r \frac{c}{v}. \quad (31)$$

В таблице 2 приводим значения ν , v , r и E для соответствующих уровней энергии атома водорода, исходя из основных фактов, каковыми являются $E_{\text{иониз}}$ и $\lambda_{\text{излуч}}$.

5. Легко проверить, что параметры атома водорода, представленные в табл. 2, удовлетворяют не только формулам

¹ Непосредственные измерения $E_{\text{иониз}}$ дают величину, равную 13,54 eV. С другой стороны, вычисление потенциала ионизации, исходя из постоянной Ридберга, дает

$$E_{\text{иониз}} \cong 13,60 \text{ eV}.$$

Принимая во внимание, что постоянная тонкой структуры $\frac{1}{\alpha}$ в настоящее время определена весьма точно и, по существу, равняется $\frac{c}{v_1}$ (см. стр. 49), можно из этой постоянной сначала вычислить v_1 (получается величина, равная $2,1876 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$), а затем по формуле

$$\frac{1}{2} m v_1^2 = E_{\text{иониз}}$$

определить $E_{\text{иониз}}$. Подсчет показывает, что в этом случае $E_{\text{иониз}}$ получается равным 13,60 eV. Считая эту величину вполне правильной, мы использовали ее при расчете параметров атома водорода (см. табл. 2).

² Может возникнуть вопрос, в чем же выражается дискретность (квантовый характер) параметров атома водорода, поскольку в наши формулы не входит h ?

Дискретность (прерывность) в наших формулах предопределяется самой прерывностью атомных излучений, которые (излучения) в виде той или иной длины волны λ берутся нами из опыта [см. формулу (28)].

³ Это выражение фактически представляет собою зависимость (6).

(27), (28), (29) и (30), но и таким соотношениям, в которые входит h , а именно:

$$v_n = \sqrt{\frac{2h\nu_1 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}{m}}, \quad (32)$$

$$r_n = \frac{h}{\pi m v_n}, \quad (33)$$

$$\lambda_{\text{среды}} = \frac{2h}{m v_n} \frac{c}{v_n}, \quad (34)$$

$$E_n = h\nu_n. \quad (35)$$

В этих формулах подразумевается, что

$$\nu_{\text{среды}} = \nu_{\text{вибратора}}$$

и, кроме того, квантовое число $n = 1, 2, 3, 4$ и т. д. заменено обобщенным коэффициентом Бальмера.

Что касается энергии излучения, то она должна подсчитываться так же, как это предложено Бором в его втором постулате, т. е. как разность энергий соответствующих уровней:

$$E_{\text{излуч}} = E_m - E_n.$$

6. При расчете атома водорода вместо величины $E_{\text{иониз}}$ можно использовать величину $\frac{e(ez)}{r}$ из формулы (20).

Применяя названную формулу, а также общие зависимости в виде

$$v_n = 2\pi r_n \nu_n \quad \text{и} \quad \nu_{\text{среды}} = \nu_{\text{вибратора}} = \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}},$$

можно получить еще один ряд расчетных формул для атома водорода:

$$\nu_{\text{среды}} = \nu_{\text{вибратора}} = \frac{c}{\lambda_{\text{среды}}}, \quad (36)$$

¹ Следует отметить, что величина h входит в эти формулы не в виде некоторой мировой постоянной, имеющей якобы универсальное значение, а в виде величины, заменяющей отношение $\frac{E}{\nu}$ электрона. По существу, постоянная Планка h означает собою не более, чем энергию электрона на данном уровне, отнесенную к одному колебанию, т. е. представляет собою своеобразную удельную энергию электрона, равную $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг. сек.

Значение этой постоянной весьма велико, но все же ее не следует переоценивать и поднимать до уровня универсальной величины.

С принципиальной стороны даже расчет атома водорода не нуждается в обязательном использовании величины h [см. формулы (27), (28), (29), (30) и формулы (36), (40), (38) и (39)].

№ д/п.	Наименование спектральной серии	Номер орбиты по Бору	$\lambda_{\text{средн}} \cdot 10^{-8} \text{ см}$		Параметры атома водорода				Значение поправочного коэффициента
			эксперим.	по формуле $\lambda = 2\pi r \frac{c}{v}$	$v \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{сек}}$ по формуле $v = \frac{c}{\lambda_{\text{средн}}}$	$v \cdot 10^8 \frac{\text{см}}{\text{сек}}$ по формуле $v = \sqrt{\frac{2E_{\text{иониз}}}{m} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$	$r \cdot 10^{-8} \text{ см}$ по формуле $r = \frac{v}{2\pi v}$	$E \text{ eV}$ по формуле $E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} m v^2 = E_{\text{потен}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лаймана	2	1215,7	1216	2,467	1,891	1,221	10,20	$\frac{1}{1} - \frac{1,05}{2 \cdot 2^2} = 0,870$
		3	1026,0	1026	2,921	2,060	1,122	12,10	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot 3^2} = 0,945$
		4	972,7	973	3,081	2,119	1,093	12,76	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot 4^2} = 0,970$
		∞	912	912	3,290	2,1876	1,060	13,60	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot \infty} = 1,00$
2	Бальмера	3	6562,8	6563	0,457	0,815	2,840	1,892	$\frac{1}{2} - \frac{1,01}{2 \cdot 2^2} = 0,374$
		4	4861,3	4860	0,616	0,945	2,441	2,55	$\frac{1}{2} - \frac{1,2}{2 \cdot 3^2} = 0,434$
		5	4340,4	4340	0,691	1,003	2,312	2,86	$\frac{1}{2} - \frac{1,3}{2 \cdot 4^2} = 0,460$
		∞	3647,0	3650	0,822	1,09	2,120	3,40	$\frac{1}{2} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,50$
3	Пашена	4	18751,3	18750	0,160	0,481	4,80	0,662	$\frac{1}{3} - \frac{0,9}{2 \cdot 2^2} = 0,221$
		5	12817,6	12820	0,234	0,583	3,97	0,966	$\frac{1}{3} - \frac{1,2}{2 \cdot 3^2} = 0,267$
		6	10938,1	10940	0,274	0,630	3,67	1,132	$\frac{1}{3} - \frac{1,4}{2 \cdot 4^2} = 0,290$
		∞	8205,8	8200	0,365	0,726	3,18	1,51	$\frac{1}{3} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,333$
4	Брекета	5	40510,4	40500	0,074	0,328	7,05	0,306	$\frac{1}{4} - \frac{0,8}{2 \cdot 2^2} = 0,150$
		6	26251,6	26300	0,1141	0,409	5,70	0,4725	$\frac{1}{4} - \frac{1,1}{2 \cdot 3^2} = 0,189$
		7	21708,4	21700	0,1380	0,449	5,17	0,573	$\frac{1}{4} - \frac{1,4}{2 \cdot 4^2} = 0,206$
		∞	14589,7	14590	0,2052	0,546	4,24	0,850	$\frac{1}{4} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,250$

¹ Опираясь на существование среды и на ее взаимодействие с движущимися элементарными частицами, мы получили формулы (27), (28), (29) и (30) без каких-либо специальных допущений, используя в качестве исходных расчетных величин те экспериментальные длины волн, которые возбуждает электрон при своем движении. С учетом каждой спектральной линии той или иной серии наши расчеты, по существу, отвечают на следующий вопрос: какую скорость и какой радиус качания имеет элементарный вибратор (электрон), возбуждающий в среде такую же частоту колебаний, которой он обладает сам, т. е.

$$(\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{среды}}).$$

Подобная постановка вопроса фактически возвращает нас к той первоначальной гипотезе Планка (о совпадении частот колебаний элементарного вибратора с частотой его излучения), которую мы считаем правильной.

Таблица 21

№ д.п.	Наименование спектральной серии	Номер орбиты по Бору	Параметры атома водорода				Эквивалентный коэффициент		
			$\lambda_{\text{эксп.}}, 10^{-8} \text{ см}$	по формуле $\lambda = 2\pi r$	$v \cdot 10^{10} \frac{1}{\text{сек}}$ по формуле $v = \frac{c}{\lambda_{\text{эксп.}}}$	$r \cdot 10^{-8} \text{ см}$ по формуле $r = \frac{v}{2\pi \nu}$		$E \text{ eV}$ по формуле $E_{\text{эл.}} = \frac{1}{2} m v^2 = E_{\text{потенц.}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лаймана	2	1215,7	1216	2,467	1,891	1,221	10,20	$\frac{1}{1} - \frac{1,05}{2 \cdot 2^2} = 0,870$
		3	1026,0	1026	2,921	2,060	1,122	12,10	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot 3^2} = 0,945$
		4	972,7	973	3,081	2,119	1,093	12,76	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot 4^2} = 0,970$
		∞	912	912	3,290	2,1876	1,060	13,60	$\frac{1}{1} - \frac{1}{2 \cdot \infty} = 1,00$
2	Бальмера	3	6562,8	6563	0,457	0,815	2,840	1,892	$\frac{1}{2} - \frac{1,01}{2 \cdot 2^2} = 0,374$
		4	4861,3	4860	0,616	0,945	2,441	2,55	$\frac{1}{2} - \frac{1,2}{2 \cdot 3^2} = 0,434$
		5	4340,4	4340	0,691	1,003	2,312	2,86	$\frac{1}{2} - \frac{1,3}{2 \cdot 4^2} = 0,460$
		∞	3647,0	3650	0,822	1,09	2,120	3,40	$\frac{1}{2} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,50$
3	Пашена	4	18751,3	18750	0,160	0,481	4,80	0,662	$\frac{1}{3} - \frac{0,9}{2 \cdot 2^2} = 0,221$
		5	12817,6	12820	0,234	0,583	3,97	0,966	$\frac{1}{3} - \frac{1,2}{2 \cdot 3^2} = 0,267$
		6	10938,1	10940	0,274	0,630	3,67	1,132	$\frac{1}{3} - \frac{1,4}{2 \cdot 4^2} = 0,290$
		∞	8205,8	8200	0,365	0,726	3,18	1,51	$\frac{1}{3} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,333$
4	Брекета	5	40510,4	40510	0,071	0,328	7,05	0,306	$\frac{1}{4} - \frac{0,8}{2 \cdot 2^2} = 0,150$
		6	26251,6	26300	0,1141	0,409	5,70	0,4725	$\frac{1}{4} - \frac{1,1}{2 \cdot 3^2} = 0,189$
		7	21708,4	21700	0,1380	0,449	5,17	0,573	$\frac{1}{4} - \frac{1,4}{2 \cdot 4^2} = 0,206$
		∞	14589,7	14590	0,2052	0,546	4,21	0,850	$\frac{1}{4} - \frac{b}{2 \cdot \infty} = 0,250$

¹ Опираясь на существование среды и на ее взаимодействие с движущимися элементарными частицами, мы получили формулы (27), (28), (29) и (30) без каких-либо специальных допущений, используя в качестве исходных расчетных величин те экспериментальные длины волн, которые возбуждает электрон при своем движении. С учетом каждой спектральной линии той или иной серии наши расчеты, по существу, отвечают на следующий вопрос: какую скорость и какой радиус качания имеет элементарный вибратор (электрон), возбуждающий в среде такую же частоту колебаний, которой он обладает сам, т.е.

$$(\nu_{\text{вибратора}} = \nu_{\text{срещ.}}).$$

Подобная постановка вопроса фактически возвращает нас к той первоначальной гипотезе Планка (о совпадении частот колебаний элементарного вибратора с частотой его излучения), которую мы считаем правильной.

$$v_n = \sqrt[3]{\frac{4\pi e^2 v_n}{m}}, \quad (37)$$

$$r_n = \frac{v_n}{2\pi v_n}, \quad (38)$$

$$E_n = 2\pi^2 m r_n^2 v_n^2 = \frac{1}{2} m v_n^2. \quad (39)$$

Однако расчет соответствующих параметров по этим формулам не дает совпадения с теми величинами, которые представлены в таблице 2. Это обстоятельство требует разъяснений и, как будет показано дальше, является важным поводом к более детальному рассмотрению физической природы атома водорода.

7. Сравнивая друг с другом формулы (29) и (37), можно высказать предположение, что формула (37) должна содержать какой-то свой поправочный коэффициент, поскольку механическое перенесение коэффициента $\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ из формулы (29) в формулу (37) себя оправдать не может. Ориентируясь на таблицу 2, не трудно показать, что искомый коэффициент имеет вид $\left(\frac{1}{a} - \frac{b}{2n^2}\right)$, причем его частное значение для каждой спектральной линии представлено в таблице 2 (графа 10).

Итак, формула (37) получает окончательное выражение

$$v_n = \sqrt[3]{\frac{4\pi v_n}{m} e^2 \left(\frac{1}{a} - \frac{b}{2n^2}\right)}. \quad (40)$$

Использование этой формулы, наряду с формулами (36), (38) и (39), приводит к тем же самым результатам, которые записаны в таблице 2.

8. Что можно сказать о физическом смысле упомянутой поправки?

$$\left(\frac{1}{a} - \frac{b}{2n^2}\right)$$

По существу, эта поправка относится к закону Кулона

$$m v^2 = E = \frac{e^2}{r}, \quad (41)$$

который, в соответствии с данными таблицы 2, преобразуется в соотношение

$$E = \frac{e^2}{r} \left(\frac{1}{a} - \frac{b}{2n^2}\right). \quad (42)$$

Выражение (42), по видимому, говорит о том, что при взаимодействии электрона с ядром не соблюдаются в полной мере те условия, для которых было выведено соотношение Кулона (центральное действие сил и малые размеры тел по сравнению с их расстоянием друг от друга).

Зависимость (42) может найти себе оправдание, если отказаться от существующего предположения, что заряд ядра равномерно распределен по его поверхности. Нет ничего невозможного в том, чтобы представить себе сосредоточенный заряд на поверхности ядра, что поведет не только к объяснению зависимости (42), но и к пониманию того, почему водородный спектр имеет несколько серий.

9. На рис. 2 представлена схема колебаний электрона относительно точечного заряда на ядре.

Если электрон более или менее центрально падает на ядро (направление $1-1$, см. рис. 2), то он, совершая последовательные подскоки, способен возбудить колебания среды, которые воспринимаются нами в виде основной спектральной серии Лаймана. Если электрон, обладая не слишком большой энергией, пересекает поле взаимодействия по направлениям 2, 3, 4 и т. д., то он может быть вовлечен в то или иное вращение относительно сосредоточенного заряда и в этом случае способен возбудить одну из побочных спектральных серий (Бальмера, Пашена, Брекета и др.).

С нашей точки зрения, электрон может иметь любые колебания относительно ядра, но с помощью приборов (спектрографов) фиксируются только резонансные колебания, которые возникают при определенных сочетаниях энергии электрона, однородности поля взаимодействия и сопротивлении среды¹.

10. Предположим, что электрон вращается в «конусе» Брекета (см. рис. 2). Вообще говоря, его движение идет по спирали, но в моменты резонансных колебаний электрон задерживается на определенных орбитах, «излучает» соответствующую долю энергии, после чего быстро выходит из со-

¹ Хотя каждое одиночное колебание электрона, безусловно, сопровождается некоторой потерей его энергии (элементарный квант), однако вследствие малой чувствительности наших приборов мы не можем заметить этих элементарных излучений (они составляют фон спектрограммы). Что касается тех квантов энергии, которые связаны с резонансным излучением (т. е. соответствуют той или иной спектральной линии), то их величина равняется сумме элементарных квантов, т. е.

$$E_{\text{излуч}} = \sum h\nu_{m-n},$$

где ν_{m-n} имеет весьма малый разброс, приближаясь к частоте монохроматического излучения (но все же не являясь им).

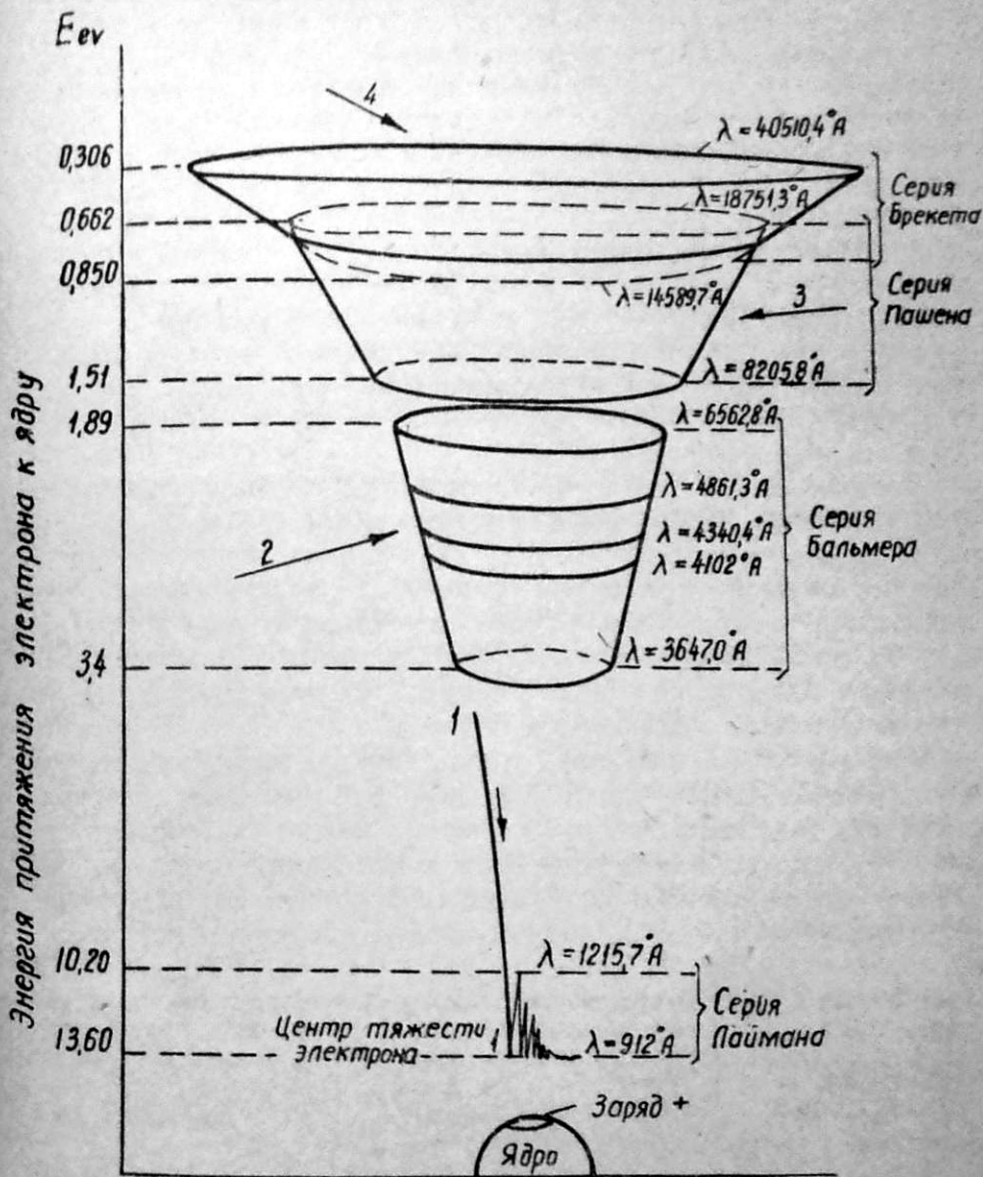


Рис. 2.

Схема колебаний электрона в атоме водорода. В сериях Брекета и Пашена показаны только крайние орбиты электрона; в серии Бальмера схематически изображены первые четыре и последняя орбиты электрона; в серии Лаймана условно показаны все «подскоки» электрона.

С целью более наглядного изображения в схеме не соблюден масштаб модели.

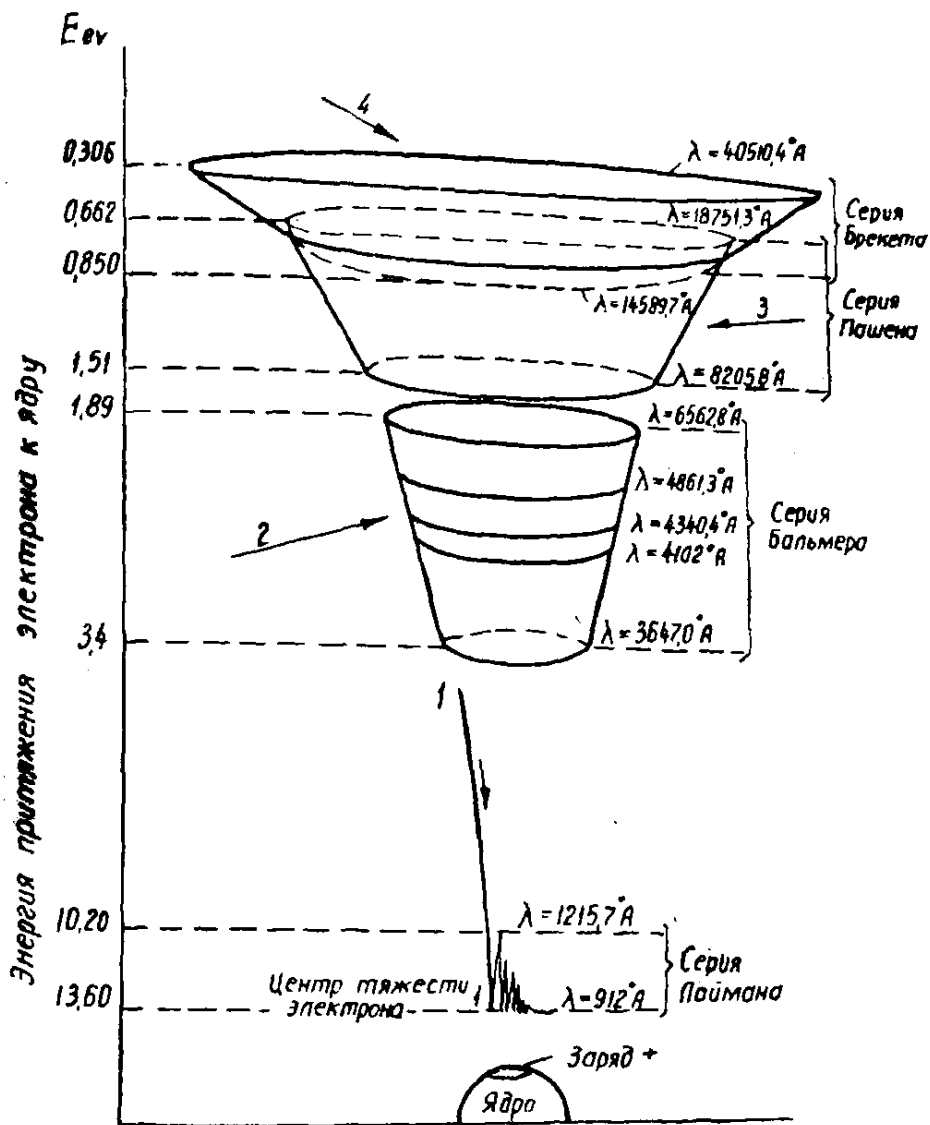


Рис. 2.

Схема колебаний электрона в атоме водорода. В сериях Брекета и Пашена показаны только крайние орбиты электрона; в серии Бальмера схематически изображены первые четыре и последняя орбиты электрона; в серии Лаймана условно показаны все «подскоки» электрона.

С целью более наглядного изображения в схеме не соблюден масштаб модели.

стояния резонанса и до следующего спектрального излучения вновь движется по некоторым спиральям¹.

Если электрон в данный промежуток времени не будет испытывать каких-либо внешних воздействий (например, столкновений с другими электронами или атомами), то он из «конуса» Брекета может перейти в «конус» Пашена, затем в «конус» Бальмера и, наконец, способен завершить свои колебания путем непосредственного контакта с ядром (серия Лаймана)².

11. В настоящее время признается, что атомная система при некоторых условиях существования может вести себя как классическая. Действительно, при большом удалении от ядра электрон, повидимому, попадает в более или менее однородное (нивеллированное) поле ядра, благодаря чему соответствующая спектральная серия может дать (в пределе) сплошное излучение³.

Однако, считаясь с этим фактом, современная физика не допускает того, чтобы и макросистема могла в некоторых случаях напоминать микросистему (т. е. квантовую систему). Именно поэтому вполне категорически утверждается, что средствами классической физики невозможно построить какую бы то ни было модель атомной системы. Но почему этого нельзя сделать, если и в макроопытах можно создать достаточно резко меняющиеся поля?

Так, например, заставляя подвешенный стальной шарик одновременно колебаться в поле земного тяготения и в поле сильного подковообразного магнита, можно наблюдать по крайней мере три различные серии колебаний этого шарика с увеличением частоты колебания в конце каждой серии. Нам думается, что с помощью более сложных приспособ-

¹ Вопрос о причине резонансных колебаний электрона во время удаления его от ядра (спектр поглощения) или приближения к ядру (спектр излучения) нуждается в специальном обсуждении. В качестве предположительных причин можно было бы назвать следующие:

1. Сопротивление среды, в зависимости от скорости движения электрона, меняется не монотонно, а соответствующими скачками.

2. Поле взаимодействия по мере приближения (удаления) электрона к ядру (от ядра) меняется достаточно резкими скачками.

3. Возможно одновременное влияние этих причин или здесь имеет место еще какой-либо иной (более простой или, наоборот, более сложный) фактор.

² Полное завершение колебаний электрона было бы возможно только в том случае, если бы атом водорода оказался совершенно изолированным от внешних воздействий.

³ Следует оговорить, что «сплошное» излучение, наблюдаемое (вернее, предполагаемое) в конце каждой серии, в действительности не является сплошным и по своему происхождению отличается от характера излучения наиболее удаленных серий.

лений (включая электромагнитные), безусловно, удастся построить такую модель атома водорода, которая, вероятно, сумеет отобразить его основные черты.

12. Расчет атома водорода и особенно схема его строения («планетарно»-компактная) должны подвергнуться дальнейшему рассмотрению и уточнению. Сейчас в этом вопросе имеется много невыясненных обстоятельств и спорных положений.

Не настаивая в настоящее время на каких-либо отдельных деталях в представленной схеме атома водорода (см. рис. 2), можно, однако, высказать уверенность, что какой бы ни оказалась в будущем действительная модель атома водорода, в ней несомненно придется предусмотреть более или менее частое контактирование между электроном и ядром, так как их упругое соударение, повидимому, соответствует действительности.

14. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Современная физика в течение последних пятидесяти лет фактически развивалась в отрыве от такого важнейшего физического фактора, каким является мировая среда («эфир»). Но так как среда решительно заявляла о своем существовании, то ее проявление все же приходилось учитывать. К сожалению, это было сделано не в прямом, а в косвенном виде: ее свойства были приписаны самим частицам, получившим наименование «частица-волна». Не имея наглядных представлений о совершающихся в микромире явлениях, современная физика принуждена была развиваться преимущественно с помощью математических абстракций и сложного математического анализа.

2. Полное признание среды в виде реального физического фактора, учет взаимодействия между частицами и средой способны, по нашему мнению, осветить содержание многих явлений микромира, которые до сих пор считаются весьма загадочными и даже, по мнению некоторых зарубежных физиков, «непознаваемыми».

3. Рассматривая среду, как полноправного партнера во многих явлениях микромира, необходимо в максимальной степени раскрыть ее физические свойства, используя для этой цели не только прямые опытные данные, но и некоторые заключения, которые можно сделать по аналогии с другими известными нам средами. В частности, напрашивается представление (которое выдвигалось и раньше), что в «эфире» возможны не только колебания, но и другие виды движения, характерные для подвижных сред (потoki, вихри и проч.).

Многие электрические и магнитные явления (например, возникновение индукции, экстратоков, взаимодействие между проводниками электрического тока и проч.) могут найти себе приемлемое физическое толкование, если учесть соответствующее возбуждения (виды движения) среды.

4. Электротехника давно пользуется терминами «магнитный поток», «пересечение магнитных линий», «электромагнитные волны» и проч., что на языке ортодоксальной физики не может иметь реального содержания, так как «эфир» (поле, среда) якобы лишен «состояния движения» (Эйнштейн). В действительности «эфир» (поле, среда), безусловно, наделен внутренним движением и то, что нам подсказывает многолетняя практика, выраженная в терминах прикладных наук, отнюдь не означает условного или наивного восприятия природных явлений.

Наоборот, грубым и наивным представлением о природных явлениях в конечном результате окажется такое, которое паделает природу абсолютными особенностями, которое, увлекаясь различиями между явлениями, не ищет (и поэтому не находит) присущих им связей.

5. Мы считаем, что большинство теоретических проблем современной физики и сопутствующие им проблемы в прикладных науках (например, в электротехнике, металлофизике, в теплотехнике и проч.) могут быть заново рассмотрены и для них можно наметить путь соответствующего теоретического решения.

Важнейшей задачей современной науки является также конкретное обсуждение вопросов о физической природе взаимодействия между частицами. И в этом сложном вопросе мы, безусловно, найдем верное направление, если будем считать, что в природе нет ничего, кроме движущейся материи.

В конечном результате и здесь решающая роль, вероятно, принадлежит динамическому состоянию той или иной среды. Как отмечал наш крупнейший физик Н. А. Умов, взаимодействие между любыми агентами природы не может осуществляться без промежуточной среды. Будучи убежденным сторонником великого Фарадея, эту же мысль упорно отстаивал и наш современник акад. В. Ф. Миткевич.

6. Ближайшее будущее должно подтвердить, что основные идеи прежней физики далеко не исчерпаны. Статистика, сопротивляемость среды движению частиц, явление резонанса, переход одного вида движения (энергии) в другой и еще многое, что знала и знает классическая физика,—все это в новом качестве, но вполне доступном для конкретного понимания, имеет место и в микроявлениях. Это, конечно, не

значит, что наука обречена «на повторение пройденного», хотя бы и в новом качестве. Это лишь означает, что какие бы в будущем ни были открыты «чудесные» и «неожиданные» явления, они все равно будут теоретически освоены на основе всей суммы знаний, накопленных наукой. Никогда не должно возникнуть такого случая, чтобы новое явление, каким бы оно ни казалось «странным» и «неповторимым», нельзя было связать (в конечном результате) с предыдущими, уже известными явлениями.

7. Во всех вопросах, которые здесь поставлены на обсуждение, возможно будут обнаружены неточности, отдельные промахи или даже ошибки.

Однако суть дела заключается не в отдельных ошибках тех или иных авторов, стремящихся по-иному осмыслить существующие факты, а в том, чтобы, не проявляя излишней строптивости, вдумчиво поддержать критическую мысль, направленную на уточнение и дальнейшее развитие современной теории.
