

Перпетуум мобиле или квантовомеханические системы атомов

В.Л. Андреев

(Получена 26 ноября 2011; опубликована 15 января 2012)

После того, как в начале XX-го века экспериментально установили, что атом не является элементарной частицей, было предпринято немало попыток создать его физическую модель. Однако дело оказалось столь сложным, что физическая наука была вынуждена отказаться от физической модели, заменив ее моделью математической – очень сложным математическим аппаратом волновой механики, позволяющим получать в физике атома практически полезные результаты. Предлагаемая мною физическая модель атома – это еще и попытка понять, почему, как только дело касается фундаментальных проблем, физическая наука предпочитает не истину, а ее отражение.

“Процесс научных открытий – это, в сущности, непрерывное бегство от чудес”.

А. Эйнштейн

1. Пусть имеется механическая система, в которой материальная точка (частица) массы m движется со скоростью v из положения a в положение b , расстояние между которыми по траектории равно l . Осуществленный переход материальной точки назовем *событием*, к характеристикам которого отнесем: протяжение по пространству l , продление по времени T и *действие* D , численно равное произведению расстояния l на количество движения материальной точки mv :

$$D = lmv, \quad (1)$$

или в более общей записи:

$$D = m \int_l v(l) \cdot dl. \quad (1')$$

Физическая величина D имеет размерность произведения *энергия на время*, поэтому энергия указанного события W равна:

$$W = \frac{D}{T} = \frac{lmv}{T}. \quad (2)$$

2. Если в механической системе некоторая совокупность движений материальной точки составляет кругооборот в течение известного промежутка времени T , то такую механическую систему принято называть *циклической*. К примеру, линейный гармонический осциллятор и планетарная модель атома Бора представляют собой циклические механические системы. Цикл планетарной модели атома водорода составляет одно событие: полный оборот электрона вокруг ядра по орбитальной траектории. Цикл линейного гармонического осциллятора составляют четыре события: два события – движения материальной точки из положения равновесия в положения крайних отклонений; еще два – возвращение материальной точки в положение равновесия.

3. Предположим, что существует циклическая механическая система, основная особенность которой состоит в том, что все события, происходящие в ней под действием

внутрисистемных сил, имеют одинаковую величину действия D , равную значению циклической постоянной Планка \hbar :

$$D = m\nu = \hbar. \quad (3)$$

Механическую систему, в которой движения материальной точки удовлетворяют уравнению (3), назовем квантовомеханической.

Поскольку в предполагаемой квантовомеханической системе величина действия каждого события неизменна и равна $D = \hbar > 0$, то это означает с необходимостью, что циклы в такой системе повторяются сколь угодно долго, следовательно, *предполагаемая квантовомеханическая система представляет собой перпетуум мобиле, т.е. вечно движущееся.*

Уравнение (3), как видно, выражает принцип устройства перпетуум мо-биле, и оно же утверждает, что закономерность этого принципа обусловлена исключительно природой внутрисистемных взаимодействий, поскольку не содержит каких-либо индивидуальных признаков частиц, составляющих квантовомеханическую систему.

4. Из логики уравнения (3) следует, что в квантовомеханических системах природа взаимодействий такова, что действием возникающих в системе сил протяжение любого циклического события по пространству l и импульс материальной точки $m\nu$ находятся в соотношении:

$$l = \frac{\hbar}{m\nu} = \frac{\hbar}{p}. \quad (4)$$

Следовательно, если в отношении какой-либо механической системы будет достоверно установлено, что она является квантовомеханической, т.е. представляет собой *перпетуум мобиле*, то из этого факта с необходимостью следует, что вне зависимости от индивидуальных качеств частиц их внутри-системные взаимодействия отвечают квантовомеханическому закону (4).

5. Мысль о перпетуум мобиле возникает не случайно. Наша Вселенная существует миллиарды лет. Если исходить из того положения, что единство мира состоит в его материальности, то миллиарды лет существуют и атомы, её составляющие. Следовательно, в течение этих же миллиардов лет в атомах движутся электроны, не требуя для своего движения поступления какой либо энергии извне атома. Энергетическая самодостаточность атомов объективно свидетельствует, что *в атомах электроны движутся без затраты энергии*, следовательно, *всякий атом объективно является механической системой перпетуум мобиле*. Этим эмпирическим фактом квантовомеханические системы из нашего предположения становятся объективной реальностью: *каждый атом, объективно являясь перпетуум мобиле, необходимо является квантовомеханической системой, в которой каждая частица совершает движения в соответствии с уравнением (4)*. Поэтому, для каждого электрона в атоме справедливо соотношение

$$l = \frac{\hbar}{m_e\nu}, \quad (5)$$

а для ядра каждого атома – соотношение

$$l = \frac{\hbar}{m_{\text{я}}\nu}. \quad (5')$$

6. Из уравнения движения (5) следует, что при уменьшении скорости электрона до нуля протяжение циклического события по пространству l возрастает до бесконечности, т.е. при скорости электрона равной нулю уравнение (4), выражающее фундаментальный закон природы, утрачивает рациональный смысл. Но законы природы рациональны рациональностью бытия, так что если в анализе уравнения, выражающего какой-либо закон природы, появляется иррациональный смысл, то это свидетельствует о формальном

подходе к анализу, подходе, не учитывающим действительный физический смысла этого уравнения.

Не теряя своей закономерности, уравнение (5) сохраняет рациональный смысл только в том случае, если скорость электрона равная нулю является признаком состоявшегося циклического события. Но тогда этот признак однозначно определяет и физическое содержание самого события: электрон совершил переход по траектории l из положения a , в котором его импульс был равен $p = mv$, в положение b , в котором его импульс стал равен нулю. Поскольку атом является системой перпетуум мобиле, то это событие не может быть финитным, а потому уравнение (5) однозначно определяет и полный цикл движения электрона – *действием внутрисистемных сил электрон в атоме совершает линейные колебания, с амплитудой равной l* .

Следовательно, уравнение (5) является уравнением гармонических колебаний из конечных причин, особенность которого состоит в том, что l и v в этом уравнении имеют смысл не текущих значений скорости электрона и пройденного им пути, а значения конечные. Физически это означает, что *если полная кинетическая энергия осциллятора равна $W = mv^2 / 2$, то амплитуда его колебаний l необходимо находится из уравнения (5)*.

7. Из логики уравнения (5) следует так же, что в квантовомеханических системах атома природа взаимодействий такова, что увеличение импульса электрона, вызванное действием тех или иных внешних сил, необходимо приводит к соответствующему “сжатию” траектории l , а уменьшение импульса – к соответствующему её “растяжению”. Из чего следует, что силы, осуществляющие колебания электрона в атоме, электростатическими не являются, поскольку не зависят от положения электрона в поле ядра. Эти силы зависят от скорости движения электрона и величины его массы, следовательно, порождены они некоторой иной *физической реальностью атома*, которая квантовомеханическими свойствами взаимодействия с частицами обладает. Поскольку мы не знаем природу этой новой физической реальности, то назовем ее условно *пондеромоторным (от лат. pondus, род. п. ponderis – вес, тяжесть и motor – приводящий в движение) полем*, а силы, которыми это поле взаимодействует с частицами, назовем *пондеромоторными*. Именно действием этих сил в атоме осуществляются колебания электрона, следовательно, действием этих сил происходит превращение кинетической энергии электрона в пондеромоторную энергию поля и обратно, что является необходимым условием осуществления колебаний электрона в прдлении вечности.

При этом следует особо подчеркнуть, что пондеромоторное поле атома не связано непосредственным отношением родства ни с ядром атома, ни с его электронами. Оно существует в атоме, как *некая самость, особая форма материальности, прослаивающая* потенциальное поле ядра.

8. Таким образом, пондеромоторное поле и электрон образуют систему квантового линейного гармонического осциллятора. Поскольку природа действующих сил нам неизвестна, то для описания движений электрона воспользуемся кинематическим уравнением линейного гармонического осциллятора, которое, как известно, безотносительно к действующим силам.

Кинематическое уравнение линейного гармонического осциллятора имеет вид

$$q = A \cos(\omega t + \alpha), \quad (6)$$

или в комплексной записи

$$q = A e^{i(\omega t + \alpha)}. \quad (7)$$

Продифференцировав (6) по времени и умножив полученный результат на массу осциллятора m_e , получим импульс гармонического осциллятора

$$p = m \dot{q} = -m A \omega \sin(\omega t + \alpha). \quad (8)$$

В каждом положении, характеризуемом отклонением q , осциллятор имеет некоторое значение импульса p . Чтобы найти p как функцию q , нужно исключить время из уравнений (6) и (8). Для этого представим указанные уравнения в виде:

$$\frac{q}{A} = \cos(\omega t + \alpha),$$

$$\frac{p}{mA\omega} = -\sin(\omega t + \alpha).$$

Возведя эти выражения в квадрат, и складывая их, получим

$$\frac{q^2}{A^2} + \frac{p^2}{m^2 A^2 \omega^2} = 1. \quad (9)$$

Координатную плоскость p, q принято называть *фазовой плоскостью*, а график, показывающий зависимость импульса p от отклонения q – *фазовой траекторией*. В соответствии с (9) фазовая траектория гармонического осциллятора представляет собой эллипс, с полуосями A и $mA\omega$. Каждая точка фазовой траектории изображает отклонение q и импульс p , т.е. состояние осциллятора для некоторого момента времени. С течением времени точка, изображающая состояние перемещается по фазовой траектории против часовой стрелки, совершая за период колебания полный обход. Поэтому колебания линейного гармонического осциллятора можно представить в виде “застывшей” *одиночной волны импульса*, длина которой равна

$$\lambda_p = 4l = \frac{4 \cdot \hbar}{mv}. \quad (10)$$

Подчеркну, не электрон здесь представляется “застывшей” волной, а колебания электрона представляются волной импульса в фазовой плоскости, что позволяет более наглядно выразить некоторые соотношения колебательного процесса.

Найдем площадь эллипса. Площадь эллипса s , как известно, равна произведению полуосей эллипса, умноженному на π :

$$s = \pi A m A \omega = \frac{2\pi}{\omega} \cdot \frac{mA^2 \omega^2}{2}.$$

В уравнении колебаний, записанных методом вращающегося вектора амплитуды, выражение $m A^2 \omega_0^2 / 2$ есть полная энергия осциллятора W , величина $2\pi / \omega$ равна $1/v$, следовательно, площадь эллипса может быть представлена в виде

$$s = \frac{1}{v} W,$$

откуда

$$W = vs.$$

Таким образом, энергия гармонического осциллятора пропорциональна площади эллипса s , а коэффициентом пропорциональности является собственная частота осциллятора. Площадь эллипса может быть вычислена так же, как контурный интеграл

$$s = \oint p(q) dq.$$

В фазовой плоскости площадь эллипса s имеет размерность *действия*. Согласно экстремальному принципу Мопертюи, при движении механической системы между двумя ее положениями истинное, т.е. фактически происходящее, ее движение будет отличаться от всех возможных движений тем, что для него значение действия s является наименьшим:

$$s = \oint p(q) dq = \min.$$

Но минимальное значение действия s не означает бесконечно малое значение. Приняв, подобно Планку,

$$s = h$$

получим выражение полной энергии линейного гармонического осциллятора, который теперь уже является *квантовым*

$$W = h\nu = \hbar\omega. \quad (11)$$

Подставив в уравнение (7) значение $A = l$, значение ω , найденное из уравнения (11), значение фазы α , найденное применением уравнения (10),

$$\alpha = \frac{q}{\lambda_p} 2\pi = \pi \frac{pq}{2\hbar}, \quad (12)$$

и учитывая, что в квантовой механике показатель экспоненты принято брать со знаком минус, получим искомое уравнение квантового линейного гармонического осциллятора

$$\Psi = l e^{-\frac{i}{\hbar}(Wt + \frac{\pi}{2}pq)}, \quad (13)$$

где Ψ – идентификатор системы квантового осциллятора, в единстве пондеромоторного поля и электрона атома.

9. Рассмотрим влияние электростатического поля ядра на квантовый гармонический осциллятор. Электростатическое поле непосредственно на поле пондеромоторное не действует; его действие опосредовано кулоновскими силами. Кулоновские силы убывают по закону обратных квадратов, следовательно, действие их нелинейно зависит от положения электрона в поле ядра, а потому квантовый осциллятор необходимо становится негармоническим: амплитуда колебаний электрона в направлении ядра становится меньше амплитуды колебаний в направлении противоположном ядру.

Поскольку движения электронов в атоме не доступны непосредственному наблюдению и природа пондеромоторного поля нам неизвестна, то для вывода уравнения негармонического квантового осциллятора воспользуемся уравнением движения электрона из закона сохранения энергии.

С учетом пондеромоторного поля, полная энергия электрона в электростатическом поле ядра атома равна сумме его кинетической и *опосредованной* пондеромоторной энергий:

$$W = W_k + W_{on} = \frac{m_e v^2}{2} + U^*(x, y, z, t) = \frac{p^2}{2m_e} + U^*(x, y, z, t), \quad (14)$$

где $U^*(x, y, z, t)$ – пондеромоторная энергия, опосредованная действием кулоновских сил.

Из вида производной по времени от функции Ψ (13)

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} W \Psi \quad (15)$$

следует, что для полной энергии квантового осциллятора справедливо соотношение:

$$W = \frac{1}{\Psi} i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}. \quad (16)$$

Из вида вторых производных от функции Ψ (13) по координате

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = -\frac{1}{\hbar^2} p_x^2 \Psi, \quad \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = -\frac{1}{\hbar^2} p_y^2 \Psi, \quad \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = -\frac{1}{\hbar^2} p_z^2 \Psi$$

следует, что проекции импульса электрона p_x, p_y, p_z на соответствующие оси координат x, y, z могут быть выражены следующими соотношениями:

$$p_x^2 = -\frac{1}{\Psi} \frac{\hbar^2}{\pi^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}; \quad p_y^2 = -\frac{1}{\Psi} \frac{\hbar^2}{\pi^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2}; \quad p_z^2 = -\frac{1}{\Psi} \frac{\hbar^2}{\pi^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2}. \quad (17)$$

Подставляя в (14) значения энергии W и импульса $p^2 = p_x^2 + p_y^2 + p_z^2$ из (16) и (17) соответственно, получим искомое уравнение негармонического квантового осциллятора

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{\pi^2 2m_e} \Delta \Psi + U^*(x, y, z, t) \Psi, \quad (18)$$

где Δ – оператор Лапласа $(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2})$.

Для сравнения [1]: временное уравнение Шредингера, которое является основным уравнением квантовой механики, имеет вид:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \Delta \Psi + U(x, y, z, t) \Psi, \quad (18')$$

где, как известно:

- Ψ есть некая волновая функция, в сущности, математическая форма, в отношении которой можно что-то целесообразно мыслить, но которая физически не осуществлена;
- $U(x, y, z, t)$ – только потенциальная энергия электрона в поле ядра;
- отсутствие множителя $1/\pi^2$ обусловлено тем, что при определении фазы α Шредингер использовал волну де Бройля, длина которой λ с одиночной волной импульса λ_p находится в соотношении: $\lambda = \lambda_p \cdot \pi / 2$.

Однако, несмотря на эти различия, следует признать с необходимостью, что основное уравнение квантовой механики является уравнением квантового осциллятора, и именно этим обстоятельством обусловлена его “магическая” плодотворность в физике атома. Поскольку это уравнение не точное, то при его экспериментальных проверках хорошего совпадения решений уравнения с результатами опыта достигают целесообразными “фантазиями” относительно Ψ – функции и специфических свойств электронов в атоме.

10. Итак, электроны в атоме не “наматывают” постоянно круги в поле центральных сил ядра, а совершают в этом поле колебания, в процессе которых происходит непрерывный переход кинетической энергии электрона в пондеромоторную энергию поля и обратно.

С позиций классической физики подобное утверждение совершенно лишено “здорового смысла”. В системе, состоящей из двух разноименно заряженных частиц – электрона и ядра атома, колебания электрона не возможны, как, впрочем, не возможны и никакие иные силы, кроме сил электростатического и гравитационного взаимодействия. И, тем не менее, мысль о существовании в атоме пондеромоторного поля является не предположением, требующим доказательства или опровержения. Эта мысль является умозаключением достоверности, истинность которого обоснована фактом бытия атома: *поскольку атом существует в продлении вечности, постольку в атоме существует и пондеромоторное поле, как необходимое условие его бытия.*

После уравнения Шредингера, за которым стоит весь опыт современной квантовой механики, вопрос состоит теперь в том, обнаруживает ли себя эта новая форма материи не опосредовано, а непосредственно, в специально поставленном опыте?

11. Если раскаленные добела твердые вещества дают, как известно, сплошной спектр излучений, то “пылающие” разреженные газы, разогретые или возбужденные электрическим разрядом, дают совершенно иной спектр. Анализ их излучения, по существу спектров излучения отдельных атомов, показывает, что в спектре отсутствует свет большей части цветов, а имеются лишь очень узкие и очень яркие полосы определенных цветов, т.е. спектр состоит из ярких “линий”, каждой из которых соответствует практически одна длина волны. У каждого газа есть свой характерный набор линий. Длины волн ярких спектральных линий имеют вполне определенную

величину для атомов каждого элемента. Линии каждого элемента группируются вдоль спектра в правильные серии с переменным шагом, так что в расположении каждой серии явно наблюдается некоторая система.

Изучая линейчатый спектр атома водорода, швейцарский ученый И. Бальмер установил (1885) правило, отражающее такую систему. Бальмер установил [2], что длины волн λ известных к тому времени девяти линий спектра атома водорода удовлетворяют эмпирически подобранной им формуле

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots), \quad (19)$$

где $R' = 10973731,77 \text{ м}^{-1}$.

Константа R' была определена шведским ученым Й. Ридбергом и называется *постоянной Ридберга*. Поскольку $\lambda = c/\nu$, то формулу (19) можно переписать относительно частот ν :

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots), \quad (20)$$

где $R = R'c = 3,2931193 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – так же называется постоянной Ридберга.

В начале XX века в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра атома водорода было обнаружено еще четыре серии спектральных линий, обнаруживающих аналогичную закономерность. Это обстоятельство позволило все серии в спектре атома водорода описать одной формулой, справедливо названной *обобщенной формулой Бальмера*:

$$\nu = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (21)$$

где m в каждой серии имеет постоянное значение $m = 1, 2, 3, 4$ (определяет серию), а n принимает целочисленные значения, начиная с $m + 1$ (определяет отдельные линии этой серии).

Согласно закону излучения Планка, атом водорода излучает электромагнитную энергию квантами. Поэтому, умножив правую и левую части уравнения (21) на постоянную Планка h , получим обобщенную формулу Бальмера относительно энергий спектральных линий:

$$h\nu = Rh \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{hR}{m^2} - \frac{hR}{n^2} = h\nu_m - h\nu_n = W_m - W_n = \Delta W. \quad (22)$$

В результате применения квантового закона излучения, обобщенная формула Бальмера приобрела ту выразительность, которая позволяет однозначно определить ее физический смысл: излучение или поглощение атомом кванта энергии $h\nu$ есть процесс изменения его внутренней энергии. При этом изменение внутренней энергии атома следует понимать как дискретный переход атома из одного энергетического состояния W_m в другое состояние W_n , так что при поглощении атом переходит в состояние большей энергии, при излучении – в состояние меньшей.

Поскольку значения m и n образуют ряд целых чисел, начиная с 1, то это позволяет свернуть уравнение (22) таким образом, что энергия атома водорода в n – м состоянии, с точностью до произвольной аддитивной постоянной, выразится формулой:

$$W_n = \frac{Rh}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3 \dots). \quad (23)$$

Из уравнения (23) следует, что значения внутренней энергии атома водорода, которые он может принимать в результате излучения или поглощения электромагнитной энергии, образуют *дискретный ряд “разрешенных” значений*:

$$W_1, W_2, \dots, W_n \dots$$

Таким образом, применение к линейчатым спектрам атомов квантового закона излучения приводит нас к мысли, что всякий атом представляет собой систему, основная особенность которой состоит в том, что взаимодействия с внешней средой не могут изменять ее внутреннюю энергию непрерывно, по произволу внешней среды. Внутренняя энергия атома может изменяться только дискретно. Закон дискретности обусловлен структурой атома и для атома водорода выражается формулой (23).

Однако мысль эта является только предположением, ибо остается сомнение, а не является ли дискретный характер изменения энергии атомов специфической особенностью их взаимодействий с лучистой энергией. Требовалось опытное подтверждение, что дискретный характер изменения внутренней энергии атомов сохраняется и при других взаимодействиях, и такое подтверждение было получено немецкими физиками Дж. Франком и Густавом Герцем в середине 1913 года.

12. Франк и Герц изучали столкновения атомов с электронами при различных значениях кинетической энергии электронов. Ими было твердо установлено [3], что в зависимости от величины кинетической энергии электронов, атомы могут сталкиваться как упруго, так и не упруго. Атомы ртути сталкиваются упруго, если энергия электронов не превышает $e\varphi_1 < 4,86$ эВ. Но как только энергия электронов достигает значения 4,86 эВ, начинают происходить неупругие столкновения, в результате которых электрон полностью передает свою энергию атому и его скорость падает до нуля.

Таким образом, дискретный характер изменения внутренней энергии атома был подтвержден: атом либо вообще не воспринимает энергию, либо воспринимает ее, но только в определенных количествах.

Это было очень важным открытием, однако, зададимся вопросом, а что представляет собой атом, как объект столкновений с электроном? Если атом представляет собой совокупность ядра и электронов, объединенных силой кулоновского притяжения, то при столкновении его в опытной установке с эмиссионными электронами необходимо должны происходить либо упругие электрон/электронные столкновения без обмена энергией, либо столкновения ядро/электронные, с неизбежной аннигиляцией атома. Учитывая разницу в геометрических размерах электрона и ядра, именно эти разрушающие атом столкновения должны иметь подавляющее преимущество. Однако атомы не разрушались, следовательно, эмиссионные электроны сталкивались не с ядром и электронами атома, а с некоторой физической реальностью, которая является системообразующей основой атома, т.е. с пондеромоторным полем атома. Столкновением с этим полем электроны и передают свою энергию атому.

Таким образом, опыты Франка – Герца не только доказали, что атом является дискретной системой, но и обнаружили в атоме существование некоторой, совершенно неизвестной ранее, физической реальности. Однако этот объективно выявленный факт не только не получил должного развития, но и, судя по всему, физической наукой не был даже замечен.

13. Американский физик А. Комптон, повторив (1922 – 23) опыты Франка – Герца, обнаружил, что атомы ртути, бомбардируемые электронами с энергией $e\varphi = 4,86$ эВ, становятся источником излучения одной ультрафиолетовой линии с $\lambda \approx 254$ нм. Это следует понимать так, что атомы ртути, получившие при столкновении с электронами квант энергии $e\varphi = 4,86$ эВ, переходят в возбужденное состояние и для возвращения в основное “сбрасывают” этот квант, излучая фотоны соответствующей длины волны $\lambda \approx 254$ нм. Из чего необходимо следует, что фотон, как объект материального мира, представляет собой *физический квант действия h* .

Как квант действия h , все фотоны одинаковы, но, являясь одинаковыми по действию, они, согласно закону излучения Планка $W = h\nu$, различны по величине свойственной им энергии.

Согласно уравнению (2), энергия действия h определяется продлением действия по времени T . Поскольку частота фотона $\nu = 1/T$, то для каждого фотона продление кванта действия по времени равно $T = 1/\nu$, следовательно, энергия физического кванта действия равна

$$W = \frac{h}{T}. \quad (24)$$

Из чего следует, что фотон представляет собой не только неизменный квант действия h , но квант действия с определенной интенсивностью его деятельного осуществления, т.е. фотон является и определенным квантом энергии.

Учитывая, что скорость фотона в вакууме равна c , а продление действия по времени T , получим зависимость энергии физического кванта действия от его протяжения по пространству в линейных размерах λ

$$W = \frac{hc}{cT} = \frac{hc}{\lambda}. \quad (25)$$

Исходя из опытов по отражению света от неподвижных зеркальных поверхностей, по дифракции света, можно сделать вывод, что квант действия h не имеет преимущественного протяжения по пространству, следовательно, можно предположить, что физически он представляет собой шар невещественной материальности диаметром λ .

Таким образом, квант действия h не следует рассматривать только как некоторую конечную величину в процессе вычислений – *универсальную постоянную физического мира*. Квант действия h – это, прежде всего, физический объект, *фотон*, который представляет собой некую невещественную материальность, локализованную по пространству, как единое и неделимое целое, которое движется в вакууме с абсолютной скоростью c , являясь определенным квантом энергии.

Именно физическая целостность фотона твердо определяет его основное правило взаимодействия с веществом: фотон никогда не взаимодействует частью себя, фотон всегда взаимодействует “нацело”. Из чего необходимо следует, что *фотон неуничтожим*, и, именно, неуничтожимостью своего бытия, так сказать, “инстинктом самосохранения” это правило и обусловлено. Говоря иначе, из основного правила необходимо следует, что фотон представляет собой квантовую *h-систему*, которая во всех взаимодействиях своими собственными причинами сохраняет себя, как неизменный квант действия h .

Поскольку скорость фотона конечна, а фотон локализован по пространству, то взаимодействие фотона с веществом не происходит мгновенно. Взаимодействие фотона необходимо представляет собой процесс, имеющий протяжение по пространству и продление по времени. Поэтому с точки зрения взаимодействия, как процесса деятельного осуществления кванта действия h , физический смысл λ – это протяжение взаимодействия по пространству (Δl), а T – продление взаимодействия по времени (Δt).

14. Вместе с тем, в исключительно тонких опытах русский физик П. Лебедев показал (1899 – 1910), что поток излучения оказывает на вещество давление, величина которого пропорциональна плотности энергии излучения. Опыты Лебедева показали, что *давление* света на поглощающую стенку равно *количеству энергии в единице объема* излучения. Этот факт позволил Эйнштейну получить соотношение, связывающее энергию излучения W с величиной импульса p , который сообщается веществу при поглощении:

$$p = \frac{W}{c}. \quad (26)$$

Но если импульс веществу сообщается, а излучение представляет собой поток фотонов, следовательно, импульсом обладает фотон. Сравнивая (25) и (26), получим соотношение между линейными размерами фотона и его импульсом

$$\lambda = \frac{h}{p}. \quad (27)$$

Давление, которое испытывает вещество при поглощении фотонов, не виртуальное, а действительно существующее, закручивающее крутильные весы. Следовательно, в процессе поглощения фотона, длительность которого равна T , на крутильные весы действует некоторая сила F , сообщая им импульс, равный

$$p = FT. \quad (28)$$

И источником этой силы может быть только фотон.

Импульс, по определению, – это количество движения частицы массой m , движущейся со скоростью v . Но фотон субстанционально осуществлен невещественной материальностью, а потому массу, а, следовательно, и импульс иметь не может, но поскольку имеет, то формально, по аналогии с вещественными частицами, его определили как

$$p = m_{\psi}c, \quad (29)$$

где m_{ψ} – масса фотона, величина которой определена так, чтобы удовлетворять соотношению (27). Откуда найдется замечательное соотношение Эйнштейна:

$$W = m_{\psi}c^2. \quad (30)$$

15. Таким образом, в фотоне имеют место быть две группы признаков, но не корпускулярных и волновых, как принято считать, а энергетических и пространственно-временных. Отличительная особенность этих признаков состоит в том, что они характеризуют различные стороны корпускулярности фотона.

Первую группу образуют признаки, которые характеризуют квант действия h как процесс достижения результата. К ним относят протяжение взаимодействия по пространству λ , продление взаимодействия по времени T , и скорость взаимодействия c , т.е. те признаки, которые принято считать волновыми.

Вторую группу образуют признаки, которые характеризуют квант действия h с точки зрения результата взаимодействия с веществом. К ним относят массу, энергию и импульс фотона, т.е. собственно корпускулярные признаки.

Вполне очевидно, что процесс достижения результата предшествует и подготавливает результат, а потому пространственно-временные признаки фотона необходимо обуславливают его энергетические признаки. Течение же процесса взаимодействия, отдельные его этапы оказываются принципиально недоступными непосредственному наблюдению, составляя информационно замкнутый цикл внутренних изменений фотона, хотя именно эти изменения и синтезируют различные физические явления, в которых проявляются те или иные свойства фотона, следовательно, свойства самого “вещества” фотона. Но поскольку мы рассматриваем фотон в контексте квантовомеханической системы атома, то нас, прежде всего, интересует его основное правило взаимодействия с веществом – правило взаимодействовать “нацело”.

16. Фотон, о котором идет речь, был получен в результате неупругого соударения эмиссионного электрона с атомом ртути. В этой связи, неужели мы позволим себе думать, что этим случайным столкновением атом и электрон “сотворили” его из небытия. Не правильнее ли будет думать, что соударением электрон “выбил” или “освободил” фотон из пондеромоторного поля атома, в котором он уже существовал и существовал так же долго, как и сам атом ртути. Именно “выбил” или “освободил”, как часть материи атома, ибо *предполагать*, что излучение фотона веществом имеет электродинамическую природу, после исследований Планком теплового излучения твердых тел [4] и работ Бора по моделированию атома [5], *непозволительно вообще*.

Поскольку эмиссионный электрон взаимодействует непосредственно с пондеромоторным полем осциллятора, то движение электрона в процессе соударения

необходимо определяет уравнение (5), при том условии, что неупругое соударение является событием финитным. Поэтому, при значении кинетической энергии $W = 4,86$ эВ скорость электрона в момент соударения

$$v \approx 13,07 \cdot 10^7 \text{ см/сек},$$

протяжение соударения по пространству

$$l = 0,882 \cdot 10^{-8} \text{ см},$$

а продление соударения по времени

$$T = 0,135 \cdot 10^{-15} \text{ сек}.$$

Для сравнения [6], радиус атома ртути принимают равным $r = 1,6 \cdot 10^{-8}$ см.

Поскольку в результате соударения осциллятор излучил квант энергии, то его полная энергия W уменьшилась и стала равной

$$W = \frac{m_e v^2}{2} - h\nu_{4,86\text{эВ}} = \frac{m_e v_1^2}{2}, \quad (32)$$

где, очевидно, $v_1 < v$.

Таким образом, при неупругом соударении мы, фактически, имеем дело с опосредованным взаимодействием эмиссионного электрона с электроном осциллятора. Взаимодействием, при котором полная энергия этого электрона уменьшилась на квант излученной энергии, следовательно, атом не только не получил энергию, но и потерял ее, так что при достаточно длительном повторении таких соударений вся энергия атома перейдет в излучение, и наступит “смерть” атома. Однако “смерть” атома не наступает, следовательно, формула (32) не точна: при неупругом соударении излучение фотона происходит без изменения внутренней энергии атома. Механизм такого сохранения следует искать, очевидно, в природе пондеромоторного поля.

17. Со времен Платона принято считать материальным все то, что проявляет себя действием. По этому определению, электрическое, магнитное и гравитационное поля представляют собой формы материи, характерная особенность которых состоит в том, что они являются материей невещественной. Так или иначе, они связаны с веществом, но сами по себе – не вещественны. Мы не знаем природу этих полей, поэтому судим о них феноменологически, по их характерным свойствам. Однако оказывается, что феноменологическое определение полей достаточно условно. Мы говорим, к примеру, об электрическом поле, как вдруг выясняется, что при всяком изменении электрического поля возникает поле магнитное, и наоборот, а это значит, что электрическое и магнитное поля имеют единую природу, являясь, по сути, проявлением ее различных аспектов.

Фотон также является невещественной материальностью – это домен материи невещественной природы, условно h – материи. Но уникальность ее состоит в том, что, во-первых, h – материя принципиально не связана с каким либо веществом, а во-вторых, природа ее такова, что проявляет себя триединством свойств – электрических, магнитных и гравитационных. В этом триединстве фотон представляет собой абсолютную корпускулу материального мира. Можно разрушить атом, протон, нейтрон, электрон и т.д., но никакими средствами материального мира невозможно разрушить фотон – абсолютный объект материального мира. Каждый фотон имеет равное количество h – материи, но различна ее плотность, отсюда различна и энергия фотонов.

Фотон обладает замечательным свойством – постоянным движением с абсолютной скоростью c в вакууме. Для этого ему не требуется энергия, он движется, как бы, по инерции, так что можно сказать, что в вакууме фотон “покоится” с абсолютной скоростью. Каждая часть фотона движется прямолинейно с абсолютной скоростью, а потому внутри фотона, нет относительного движения, ибо в противном случае окажется, что существует скорость движения больше абсолютной. Поскольку внутри фотона нет относительного движения, то ничто не угрожает его целостности, а потому и нет

надобности в каких либо силах, ее сохраняющих. В этом состоянии, т.е. в состоянии абсолютного внутреннего покоя, фотон представляет собой замкнутое электрическое поле, которое, *возможно*, имеет сложную структуру, к примеру, структуру одиночной волны, определенным образом ориентированную по пространству.

Но движение фотона в вакууме с абсолютной скоростью не означает, что фотон принципиально не может двигаться со скоростью меньше абсолютной. Поскольку движение фотона с абсолютной скоростью – это его состояние инерции, обусловленное средой вакуума, то изменить это состояние можно, только изменив условия среды.

Действительно, при прохождении фотона через оптически более плотные среды скорость фотона становится меньше абсолютной $v < c$, но одновременно уменьшается и его протяжение по пространству λ , уменьшается так, чтобы энергия фотона оставалась неизменной, в согласии с уравнением (25). Энергия фотона остается неизменной, но изменяется ее качественный состав: уменьшение энергии, связанной с движением фотона, восполняется соответствующим количеством энергии магнитного поля. При возвращении фотона в среду вакуума, это магнитное поле сворачивается, и запасенная в нем энергия переходит в энергию движения фотона, так что скорость фотона снова становится абсолютной.

Возникновение магнитного поля обусловлено изменениями электрического поля, которые имеют место при вхождении фотона в оптически более плотную, чем вакуум, среду. Те участки фотона, которые уже находятся в более плотной среде, будут двигаться с некоторой скоростью v , другие же продолжают движение с абсолютной скоростью. В электрическом поле фотона возникает волна продольной деформации, фронт которой движется со скоростью c (фотон сжимается со скоростью c), достигая конца фотона за время T .

Энергия магнитного поля прямо пропорциональна градиенту деформации: чем выше градиент – большая плотность h – материи, оптически более плотная среда, тем больше доля магнитной энергии в полной энергии фотона. Абсолютное движение фотона неуничтожимо, поэтому, когда волна продольной деформации достигает конца фотона она, скорее всего, отражается и в электрическом поле фотона образуется стоячая волна, частота пульсаций которой η есть некая функция $f(v/c)$, к примеру:

$$\eta = \frac{(n-1)}{n} v, \quad (33)$$

где n – коэффициент преломления данной среды.

При столкновении фотона с неподвижной непрозрачной поверхностью фотон, в общем случае, либо отражается от этой поверхности, либо поглощается ею.

Возникающая при столкновении с неподвижной и оптически непрозрачной поверхностью волна продольной деформации электрического поля имеет максимальный градиент, но величина градиента у различных фотонов разная (в силу разной плотности h – материи), в то время как коэффициент деформации у всех фотонов одинаков (в силу единой природы h – материи). Поэтому в момент полной остановки фотона, т.е. когда вся энергия движения переходит в энергию магнитного поля, каждый фотон сжимается до свойственных только ему предельных размеров $\lambda_{кон}$, имея соответствующую конечную $\rho_{кон}$ плотность h – материи. Можно предположить, что фотон отражается потому, что $\rho_{кон}$ меньше плотности вещества отражающей стенки ρ : вперед двигаться не может и сжаться больше не может. Поэтому при достижении волной деформации конца фотона стоячая волна не образуется – магнитное поле сворачивается, и запасенная в нем энергия переходит в энергию движения фотона с абсолютной скоростью.

18. Поглощение фотона атомом – это сложно структурированное обменное взаимодействие фотона с пондеромоторным полем одного из квантовых осцилляторов

атома. При поглощении фотона с энергией $h\nu$ происходит материализация кванта кинетической энергии электрона осциллятора, равного кванту энергии фотона, с образованием кванта пондеромоторного поля – гравитона массой $2m_\psi$.

Хочу заметить, что рассмотреть процесс поглощения фотона на уровне действующих причин не представляется возможным в силу того, что нам не-известна ни природа h – материи, ни природа пондеромоторного поля, и нахождение этих природ выходит за рамки данной работы. Поэтому ограничимся сформулированным феноменологическим определением, учитывая то существенное обстоятельство, что оно хорошо согласуется с такими физическими явлениями, как радиоактивный распад вещества, дефект массы, внешний и внутренний фотоэффекты.

В контексте этого определения процесс поглощения состоит в том, что квант энергии фотона $h\nu$ и равный ему квант кинетической энергии электрона осциллятора образуют гравитон с массой $2m_\psi$. Энергетическое уравнение этого процесса можно представить в виде:

$$W = \frac{m_e v^2}{2} + h\nu = \frac{m_e v_1^2}{2} \rightarrow 2m_\psi, \quad (34)$$

где $v_1 < v$.

Фотон – это корпускула невещественной материальности, атрибутивным признаком которой является движение. Кинетическая энергия электрона осциллятора материальностью не является вообще – это количественная мера его механического движения. Так вот, *уникальность* процесса поглощения состоит в том, что, во-первых, происходит их агрегатирование, а во-вторых, агрегатирование с образованием нового объекта материального мира – кванта вещественной материальности, обладающего прямо противоположным атрибутивным признаком – *не движением, инертностью*, но инертностью не абсолютной, а относительной, мерой которой является масса. В гравитоне электрический и магнитный аспекты h – материи находятся в потенциальном, т.е. не проявленном состоянии, в физически проявленном состоянии находится гравитационный аспект.

То, что мы ранее в атоме называли пондеромоторным полем и что было обнаружено в опытах Франка – Герца, в действительности, является *гравитонным* полем, которое имеет квантовую структуру и обладает квантовомеханическими свойствами взаимодействия, как с частицами, так и с фотонами. С учетом этого обстоятельства, полную энергию квантового осциллятора можно записать в более определенной форме

$$W = m_0 c^2 + \frac{m_e v^2}{2}, \quad (35)$$

где m_0 – суммарная масса всех m_ψ гравитонов, образующих данный квантовый осциллятор.

Вполне очевидно, что при излучении квантовым осциллятором фотона с энергией $h\nu = 4,86\text{эВ}$, его полная энергия станет равной

$$W = (m_0 - 2m_\psi) c^2 + \left(\frac{m_e v^2}{2} + 4,86\text{эВ}\right) \rightarrow h\nu_{4,86\text{эВ}}. \quad (36)$$

Поскольку при неупругом соударении внутренняя энергия атома сохраняется, то неупругое соударение можно представить совокупностью двух процессов: излучения фотона $h\nu = 4,86\text{эВ}$ и поглощения кванта кинетической энергии $4,86\text{эВ}$ эмиссионного электрона, осуществляемого по правилам поглощения фотона

$$W = (m_0 - 2m_\psi + 2m_\psi) c^2 + \left(\frac{m_e v^2}{2} + 4,86\text{эВ} - 4,86\text{эВ}\right) \rightarrow h\nu_{4,86\text{эВ}}. \quad (36')$$

При этом еще раз подчеркну, что речь идет о феноменологическом рассмотрении, при котором раскрываются лишь некоторые аспекты рассматриваемых процессов.

Из анализа уравнения (36') следует, что взаимодействия неупругого соударения осуществляются атомом из закона сохранения энергии, при этом сохраняется неизменной и структура его гравитонного поля, так что можно утверждать, что атом представляет собой жестко консервативную систему.

19. Итак, при всех обменных взаимодействиях атом исходит из условия самосохранения, т.е. сохранения минимального значения внутренней энергии. Но если при неупругих соударениях с частицами квантовая структура гравитонного поля остается неизменной, то при поглощении или излучении фотона изменяется: при поглощении фотона в структуре поля появляется новый гравитон, при излучении исчезает один из ранее существовавших. Само-сохранение атома, в этих случаях, достигается соответствующим изменением его теплоемкости, так что, так называемый, дискретный ряд "разрешенных" значений внутренней энергии атома (из формулы (23) для атома водорода и аналогичных для других атомов) выражает, в сущности, структуру гравитонного поля, сохраняющего атом при различных условиях внешней среды.

В связи с этим становится понятным и физический смысл производной по времени от функции квантового осциллятора (15) – это квант энергии, на который при поглощении уменьшается и при излучении возрастает кинетическая энергия квантового осциллятора, так что производная имеет вид:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} W \Psi, \quad (37)$$

где Ψ – тот же квантовый осциллятор, но с новым значением кинетической энергии.

Подставив найденное значение производной в уравнение (18) получим, стационарное уравнение квантового негармонического осциллятора

$$\Delta \psi + \frac{\pi^2 2m_e}{\hbar^2} (W - U^*) \psi = 0, \quad (38)$$

которое, впрочем, справедливо только для тех квантовых осцилляторов атома, которые при данном состоянии теплового равновесия атома не поглощают и не излучают кванты тепловой энергии.

20. Уравнение (5), как видно, напоминает формулу де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{m_e v}, \quad (39)$$

в которой λ , как известно, имеет смысл длины электронной волны.

Однако, предположение де Бройля о том, что электрон, несомненно, являющийся частицей, является так же и волной – такое предположение грубо противоречит неизменяемым основам точного естествознания, а потому ошибочно. Волну де Бройля следует рассматривать не более чем "*рабочую гипотезу*" или "*гипотезу о правдоподобных причинах*". Так называют гипотезы, выдвигаемые в условиях, когда для полного объяснения всей совокупности явлений исследуемой области еще нет достаточных данных, и когда приходится довольствоваться объяснением заведомо неполным. "Рабочая гипотеза" не претендует быть *объяснением или отражением реальности*. Это – более или менее искусственное, всегда лишь *условно* принимаемое предположение, судьба которого – рано или поздно уступить место такому объяснению, которое будет действительным отражением объективной закономерности во всей ее полноте и сложности.

Электрон объективно является частицей, и потому волной принципиально быть не может. И тем не менее, как следует из научной литературы, справедливость гипотезы де Бройля была доказана в многочисленных экспериментах.

Еще Лейбниц остроумно высмеивал тех, кто думал, что до изучения логики человек не способен был мыслить. Это, по его словам, значило бы чрезмерно принижать природу

и предполагать, что человек – двуногая тварь, которую Аристотель превратил в разумное существо. Не менее прав был и Ге-гель, когда говорил, что, для того чтобы правильно мыслить, не обязательно знать логику, как не нужно знать физиологию пищеварения, чтобы научиться принимать пищу.

Человек научается мыслить, прежде всего, под воздействием природы, частью и “венцом” которой он является. В отличие от всех других видов животного мира, человек не имеет своей биологически выделенной экологической ниши: средства жизнеобеспечения его организма слишком слабы и не развиты для непосредственного извлечения и потребления жизненных сил окружающей его природы. Жизнеспособным человека делает способность к познанию действительности, т.е. способность в мыслях *правильно* отражать окружающий мир и себя в этом мире. Не мышление вообще, но *правильное мышление* открывает человеку возможность постоянно усиливать свои естественные средства жизнеобеспечения, дополняя их необходимыми инструментальными средствами. Если бы человек в своих мыслях не отражал действительность *правильно*, то он просто не мог бы существовать. Но чтобы правильно мыслить, получать новые знания посредством *умозаключений*, необходимо знать, как совершается процесс мышления, каковы его формы и законы, как строить познание, чтобы верно объяснять окружающую нас действительность. Поэтому Лейбниц и указывал, что мышление без науки о сущности мышления и его законах было бы “подобно счёту на пальцах”.

Не надо знать законов логики, чтобы мыслить, но чтобы мыслить правильно следует иметь в виду, что соблюдение законов логики в процессе получения выводного знания является необходимым условием достижения истины.

Гипотеза – одна из логических форм мысли, позволяющая получать выводные знания, поэтому в целях получения достоверных знаний логическая наука устанавливает определенные правила ее проверки. Проверка гипотезы состоит в том, что следствия, аналитически полученные из исследования ее основного предположения, сопоставляются с данными наблюдения и опыта. При этом если сопоставление покажет, что *все следствия*, теоретически выведенные посредством анализа основного предположения, существуют в действительности, т.е. согласуются с данными наблюдения и опыта и ни одно из них не противоречит этим данным, то это будет доказывать только то, что *гипотеза вероятна*. Может показаться, что если все теоретически выведенные следствия гипотезы соответствуют наблюдаемым фактам действительности, то, тем самым, гипотеза должна считаться доказанной в качестве достоверной истины. Однако это не так. Дело в том, что одно и то же следствие может вытекать из различных оснований. Поэтому согласие выведенных из основного предположения гипотезы следствий с фактами действительности еще не доказывает ее достоверности, поскольку эти факты могут оказаться обусловленными *другой* закономерностью, которая осталась автору гипотезы неизвестной.

Вместе с тем, веским доказательством в пользу гипотезы бывает открытие – *путем специального опыта* – такого явления, которое до разработки гипотезы прямо нигде не наблюдалось, не было известно и существование которого было впервые выведено теоретически – *как следствие данной гипотезы*. Доказательная сила теоретического вывода еще более возрастает, если оно содержит численные соотношения, связывающие существенные стороны открытого явления. Таким, к примеру, было одно из следствий, выведенное из основного предположения волновой гипотезы света. Математический анализ показал, что если волновая гипотеза верна, то внутри полной тени, отброшенной на светлый экран темным сплошным кружком, помещенным между источником света и экраном, непременно должно наблюдаться, при точно определенных условиях, светлое пятно (*пятно Пуассона*), как если бы кто-то проколол кружок экрана посередине. Последующая проверка показала, что этот, кажущийся парадоксальным, факт

действительно имеет место. И, тем не менее, это открытие – дифракция Френеля на круглом и непрозрачном экране – объективно доказывает только истинность следствия из предположения волновой природы света, т.е. применимость для расчета дифракции света метода Гюйгенса – Френеля, но не доказывает истинность самого этого предположения – не доказывает волновую природу света. Поэтому, открытие дифракционного рассеяния микрочастиц, явления, которое до разработки гипотезы де Бройля прямо нигде не наблюдалось, не было известно и существование которого было впервые выведено теоретически, *как следствие данной гипотезы*, только повышает степень вероятности гипотезы, но не доказывает ее истинности. Это открытие объективно доказывает только истинность следствия из предположения волновой природы микрочастиц – применимость формулы де Бройля для расчета дифракции микрочастиц методом Вульфа – Брэггов, но не доказывает истинность самого предположения – волновую природу микрочастиц.

Предостережение от поспешного превращения гипотезы в достоверное знание в науке логики выражается законом: *от истинности следствия нельзя заключать к необходимой истинности основания*. Объективный характер этого закона в нашем случае подтверждается тем обстоятельством, что дифракционное рассеяние микрочастиц и фотонов на кристаллических решетках обусловлено не их волновой природой, а квантовомеханическими свойствами гравитонного поля кристаллических решеток, с которыми они взаимодействуют в соответствии с уравнением (4).

21. Я отдаю себе отчет в том, какие волнения может вызвать предлагаемая мною теория квантовомеханических систем в научном сообществе. Поэтому в качестве примиряющего жеста хочу напомнить золотое правило науки, сформулированное великим Б. Паскалем: “никогда не утверждать ни какого положения, которое не было бы доказано истинами, уже доказанными”. Это золотое правило способно надежно уберечь науку от двух крайних зол человеческих – диалектического и амбициозного волонтаризма. Напоминание это тем более уместно, что предлагаемая теория не только не умаляет достижений квантовой физики, но придает, так не хватающий, им физический смысл, превращая, тем самым, квантовую физику из *науки чудесной в фундаментальную науку точного естествознания*. А это открывает новые перспективы не только для физического, но и гуманитарного познания действительности.

Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М., *Курс физики*: Учеб. пособие для втузов, М.; Высшая школа, 1999.
2. Трофимова Т. И. *Курс физики*, М., Высшая школа, 1994.
3. Шпольский Э. В. *Атомная физика*, 6 изд., т. 1 – 2, М., Наука, 1974.
4. Планк Макс, *Избранные труды*, М., Наука, 1975.
5. Бор Нильс, *Избранные научные труды*, в 2-х томах, М., Наука, 1970.
6. Енохович А. С., *Справочник по физике*, М., Просвещение, 1990.