

Уважаемые коллеги!

Просматривая старую почту, я натолкнулся на ранее не замеченную мною статью В.А. Эткина "Об основаниях квантовой механики", которую я, естественно, не мог оставить без внимания. В порядке так и не сложившейся дискуссии, предложенной М. Микитинским, я высылаю свое мнение по этой статье на Ваш суд. Все материалы по этой дискуссии будут опубликованы на сайте нашей академии. Было бы также полезно опубликовать их и на сайте ДУХ'а.

С уважением, Лев П.

ОБ ОСНОВАНИЯХ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Д.т.н. проф. Эткин В.А.

Введение. В 1900 году М. Планк, известный своими работами по термодинамике, сконструировал удачную формулу для распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Для этого он ввел понятие о кванте света, энергия которого E пропорциональна частоте излучаемых электромагнитных волн ($E = h\nu$). Развивая идеи М. Планка о квантовании излучения, А. Эйнштейн в 1905 году предположил, что квантуется не только процесс излучения, но и сама лучистая энергия, заключенная в каком-либо объеме. При этом он представил квант излучения с энергией $h\nu$ (где ν – частота излучения, s^{-1} , h – постоянная Планка) как частицу (названную впоследствии фотоном). Основываясь на этом, он дал первое теоретическое объяснение экспериментальных зависимостей фотоэффекта, за что впоследствии получил Нобелевскую премию [1]. Вслед за этим Н. Бор на основе квантовой модели атома водорода объяснил происхождение спектральных серий Бальмера. Так родилась квантовая механика, которая исходит из того, что законы, которым подчиняются атомы, молекулы и элементарные частицы (т.е. объекты микромира), коренным образом отличаются от классических законов, описывающих поведение макроскопических объектов. Одной из причин, вынудившей исследователей отказаться от классической волновой теории света, явились обнаруженные в ряде явлений (фотоэффект, фотолюминесценция, эффект Комптона) свойства света как частицы. Этот дуализм «волна - частица» не получил в то время удовлетворительного объяснения. Другой причиной явилась невозможность согласовать существование устойчивых орбит электронов в планетарной модели атома Резерфорда с электродинамикой, согласно которой электрон, движущийся с центростремительным ускорением, должен излучать энергию и неизбежно упасть на ядро. Однако в настоящее время все чаще появляются публикации, в которых с позиций классической физики. Поэтому вновь оказывается актуальным вопрос, поставленный еще академиком Вавиловым: действительно ли волновая теория оказалась беспомощной перед квантовыми законами действия света? Во всяком случае, по мнению Нобелевского лауреата академика В.Л. Гинзбурга, обсуждение основ квантовой механики сохраняет известную актуальность, и не следует им пренебрегать. В этой статье мы попытаемся рассмотреть эти вопросы с позиций термокинетики, обобщающей классическую термодинамику на нестатические (неравновесные) процессы переноса и преобразования любых форм энергии [2].

Причины возникновения и квантования процесса излучения. Согласно принятому в термодинамике принципу классификации процессов по их последствиям (т.е. по особым, феноменологически отличимым и несводимым к другим изменениям состояния, которые они вызывают) следует различать процесс ускорения (или торможения) тел, состоящий в данном случае в изменении кинетической энергии электронов $E_k = m_e w^2/2$ (где w , m_e – их скорость и масса), и процесс их переориентации, состоящий в изменении направления вектора скорости \mathbf{w} при постоянстве ее модуля w (и кинетической энергии E_k). Это означает, что модуль скорости электрона $w = |\mathbf{w}|$ и единичный вектор \mathbf{e} , характеризующий направление вектора скорости $\mathbf{w} = w \mathbf{e}$, являются координатами двух независимых процессов - ускорения и переориентации. С этих позиций равномерное круговое движение электронов нельзя называть ускоренным, поскольку его кинетическая энергия определяется только величиной, а не направлением скорости. Последнее тем более очевидно, что процесс ускорения требует затраты определенной работы, в то время как центростремительная сила \mathbf{F}_c всегда направлена по нормали к вектору \mathbf{w} и потому не совершает никакой работы ускорения. Поэтому следует скорее признать неудачным введение в механику термина «центростреми-

тельное ускорение», нежели считать противоречащим электродинамике безизлучательное движение электронов по круговой орбите. Напротив, противоречащим физике следует считать противоположную точку зрения, поскольку при равномерном вращении электрона его кинетическая и полная энергия остаются неизменными. В таком случае излучение электрона противоречило бы закону сохранения энергии, а также оригинальным уравнениям Максвелла, которые могут быть выведены термодинамическим путем именно исходя из этого закона (Здесь). Кстати сказать, вывод об излучении электрона в процессе его центростремительного ускорения следует не из самих уравнений Максвелла, а из их волновой формы, предложенной в 1883 году британскими физиками Д. Фицджеральдом и О. Хэвисайдом и, как выяснилось впоследствии, не эквивалентной им.

Далее, можно показать, что излучение электрона нельзя объяснить и «перескоком» его с одной устойчивой круговой орбиты на другую. Дело не только в том, что это ведет к нарушению причинно – следственных отношений, поскольку частота фотона ν зависит в этом случае и от параметров будущей орбиты (как это и предположил Н.Бор), что равноценно допущению, будто электрон неведомым образом заранее знает, на какую орбиту он «перескочит». Важнее другое, что сход электрона с устойчивой орбиты возможен лишь в результате его торможения. Действительно, согласно закону Кулона сила F_e притяжения электрона, движущегося по круговой орбите радиусом r , равна: $F_e = kZe^2 / r^2$, (1) где $k = 8,98756 \cdot 10^9$ – электрическая постоянная, Z – атомный номер элемента, соответствующий числу протонов в его ядре; $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

При равномерном движении электрона по круговой орбите эта сила уравновешивается центростремительной силой: $F_c = m_e w^2 / r$, (2)

так что орбитальная скорость электрона w оказывается связанной с радиусом круговой орбиты r соотношением: $w = e(kZ/m_e r)^{0,5}$. (3)

Отсюда следует, что при движении с постоянной скоростью w радиус орбиты остается неизменным, так что электрон не может «соскочить» с нее. Остается показать, что излучение электрона возможно только при торможении его сторонними (нецентральными) силами. Известно, что движение тел (частиц) под действием центральных сил происходит по траектории, образуемой одним из конических сечений, и при этом их полная (кинетическая и потенциальная) энергия остается неизменной [1]. Это означает, что в соответствии с законом сохранения энергии движение под действием только центральных сил также не может сопровождаться излучением.

Таким образом, с термодинамических позиций излучение или поглощение энергии электроном возможно только в случае торможения электрона нецентральными (сторонними) силами, исходящими из внешних для атома силовых полей и изменяющими энергию атома. Последнее означает, что если в качестве системы рассматривать не одиночный атом (как в модели Бора), а всю совокупность атомов, находящихся в поле межатомных сил и внешних силовых полей, то в соответствии с неравновесной термодинамикой в каждом акте торможения электрона нецентральными силами совершается работа против этих сил. В каждом таком акте торможения электрона возникает единичное возмущение внешнего силового поля, которое распространяется в нем в виде солитона (уединенной электромагнитной волны). Процесс торможения электрона ограничен во времени, поэтому энергия и излучается порциями (квантами). В этом порядке идей постулат М. Планка о квантовании энергии излучения, положенный им в основу его знаменитого закона излучения [1], вовсе не выглядит противоречащим классической физике.

Торможение электрона и является причиной схода его с траектории, которую он имел бы при действии только центральных сил (какова бы она ни была эта траектория – круговая или эллиптическая, замкнутая или незамкнутая). При этом будущая орбита электрона определяется величиной излученной энергии (а не наоборот, как предполагается в модели Бора). Поскольку же величина и направление внешних сил, тормозящих электроны, меняется с изменением взаимного расположения атомов, само понятие орбиты приобретает статистический (вероятностный) характер, что трактуется в квантовой механике как ее «размытость».

Принципиальное отличие солитона от фотона как волнового пакета с энергией $\hbar\nu$ заключается также в том, что его энергия E_c определяется не его частотой, а, как обычно, квадратом амплитуды волны $E_c = KA^2$ (где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы волны). Последовательность таких солитонов и образует квазинепрерывную волну, частота ν которой (и длина волны λ) определяется числом актов торможения электрона

(рождения и «испускания» солитона) в единицу времени, а амплитуда A – величиной изменения скорости электрона. Свойства солитона, как известно, близки к свойствам частицы [4]. В частности, он сохраняет свою форму в процессе распространения и «столкновения» с другими солитонами. Это приближает нас к пониманию природы дуализма «волна - частица». Как и любая волна, он не имеет массы, и это освобождает от необходимости прибегать к СТО для объяснения нулевой массы его покоя.

При чередовании актов излучения и поглощения солитонов в веществе может наступить состояние динамического равновесия, характеризующееся соответствием среднестатистических параметров орбит условиям резонанса с колебаниями окружающих атом электромагнитных полей. Эта резонансная частота излучения оказывается пропорциональной числу актов торможения электрона нецентральной силой, т.е. произведению числа оборотов (витков) электрона n в его орбитальном движении на число z_0 актов торможения или ускорения за один оборот электрона. В частности, для эллиптических орбит число актов торможения равно удвоенному числу оборотов электрона в единицу времени n , поскольку скорость движения электрона относительно ядра достигает при этом минимума дважды (в апогее). Естественно, что величина ускорения на различных участках траектории (и, следовательно, амплитуда солитона A) при этом будут различны.

Число n можно представить как частное от деления модуля средней орбитальной скорости w на длину условной круговой орбиты $2\pi r$ (где r - радиус эквивалентной окружности). Тогда частота излучения или поглощения ν определится простым соотношением:

$$\nu = z_0 n = z_0 w / 2\pi r = m_e w c / 2\pi m_e r c z_0^{-1} = p_e c / h^* , \quad (4)$$

где $p_e = m_e w$ - средний импульс электрона; $h^* = 2\pi m_e r c z_0^{-1}$ – некоторая постоянная для данной орбиты величина.

Согласно этому выражению, частота излучения ν оказывается пропорциональной импульсу электрона p_e . При этом каждому виду атомов соответствуют определенные длины волн излучения (поглощения), зависящие от импульса электронов и радиуса их орбит, т.е. от свойств самого вещества. Это соответствует гипотезе де Бройля (1926 г) о том, что волновые свойства присущи всем веществам, и приближает нас к пониманию природы дуализма «волна – частица». Не противоречит такая точка зрения и представлению Эйнштейна о том, что лучистая энергия в полости имеет дискретный (квантовый) характер (с той лишь оговоркой, что ее носителем являются не фотоны, а солитоны, сохраняющие свою форму и обладающие свойствами как волны, так и частицы).

Исходя из этого, оказалось возможным дать классическое обоснование всех закономерностей фотоэффекта, дать термодинамический вывод основного уравнения квантовой механики и получить поддающиеся экспериментальной проверке выражение для спектральных серий Бальмера, Лаймана, Пашена (http://zhurnal.lib.ru/_e/etkin_w_a).

Однако предлагаемый подход позволяет не только дать классическое объяснение квантовой природы процесса излучения, но и рассчитать параметры орбиты электрона. Из (4) следует, что для орбиты с числом участков торможения z_0 существует однозначная связь между частотой излучения ν и отношением w/r : $w = 2\pi z_0^{-1} r \nu$. (5)

Раскроем вид функции $\nu = \nu(w/r)$ для случая исходного движения электрона по круговой орбите. Рассматривая (5) и (3) совместно, находим: $r = (kZ e^2 z_0^2 / 4\pi^2 \nu^2 m_e)^{1/2}$. (6)

Это соотношение позволяет для каждой орбиты с известным числом участков торможения z_0 находить её радиус r , средний импульс электрона: $p_e = m_e w = e(kZ m_e / r)^{0,5}$ (7),

и среднюю кинетическую энергию электрона: $E_k = p_e^2 / 2m_e$. (8)

Рассмотрим теперь, насколько соответствует реальности предложенная зависимость частоты излучения от параметров орбиты. Найдем, например, условный радиус эллиптической ($z_0=2$) орбиты электрона ($m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31}$ кг) атома водорода ($Z=1$), излучающего с частотой $\nu = 1 \cdot 10^{15}$ Гц (длина волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м).

В соответствии с (6) имеем:

$$r = (8,9875 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 1,602^2 \cdot 10^{-38} \cdot 4 / 4 \cdot 3,14159^2 \cdot 1 \cdot 10^{30} \cdot 9,1095 \cdot 10^{-31})^{1/2} = 2,95 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Эта величина имеет порядок радиуса атома водорода (10^{-10} м). В таком случае средняя скорость орбитального движения электрона имеет порядок:

$$w = e(kZ / m_e r)^{0,5} = 1,602 \cdot 10^{-19} (8,9875 \cdot 10^9 \cdot 1,0 / 9,1095 \cdot 10^{-31} \cdot 2,95 \cdot 10^{-10})^{0,5} = 0,9265 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1},$$

что соответствует импульсу электрона:

$$p_e = m_e w = 9,1095 \cdot 10^{-31} \cdot 0,9265 \cdot 10^6 = 8,44 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

и его кинетической энергии:

$$E_k = p_e^2 / 2m_e = (8,44 \cdot 10^{-25})^2 / 2 \cdot 9,1095 \cdot 10^{-31} = 3,909 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Таким образом, не только спектр излучения и поглощения любого атома, но и средний импульс p_e и энергия E_k его электронов определяются геометрическими характеристиками их орбит r и z_0 . Возможность нахождения этих параметров выходит за рамки задач, решаемых квантовой механикой. Это вселяет надежду, что и другие выводы квантовой механики окажутся следствием корректного обобщения классической физики на объекты микромира.

Литература.

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика, Т.1. Механика. – М.: Наука, 1973.
2. Эткин В.А. Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии) Тольятти, 1991.
3. Филиппов А.Т. Многоликий солитон. – Москва: Наука, 1990. – 288 с.

Л. Прейгерман

ПО ПОВОДУ ОДНОГО ОПРОВЕРЖЕНИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

В последнее время стало очень модным опровергать новые физические теории. Опровергается теория относительности Эйнштейна, доказывається реальность эфира и сверхсветовой скорости распространения взаимодействий, опровергается факт расширения Вселенной и достижения современной физической космологии, опровергается квантовая теория и теория эволюции Вселенной, вообще все, что непривычно, непонятно или неприемлемо по идеологическим мотивам и противоречит убеждениям авторов. Интересно при этом, что опровергателями чаще всего не предлагаются новые фундаментальные теории в развитии существующих, они просто требуют возврата назад, к классической физике, предполагая лишь возможность ее некоторого косметического причесывания. Только поэтому, даже, если допустить, что в своей критике новейших теорий опровергатели правы, их притязания следует отбросить, так как наука, которая пятится назад – это уже не наука. Это тем более верно, что шумные опровержения подчас изобилуют огромным числом бездоказательных, часто ошибочных, а иногда, к сожалению, и недостаточно грамотных утверждений, высочайших, как говорят, из пальца. Опровергателей при этом несколько не смущает, что современная физика получила блестящее подтверждение на опыте, что вытекающие из нее многочисленные следствия широко используются в экономике, новейших современных высоких технологиях, на производстве, в быту. Сегодня даже школьники знают, что квантовая механика, например, дала блестящее объяснение периодическому закону Менделеева, является единственной физической теорией, в которой нашли точные объяснения все виды излучений, от тепловых и оптических до рентгеновских и радиоактивных, по-новому, на более высоком теоретическом уровне описала процессы химических взаимодействий и легла в основу органической химии. Квантовая механика позволила также провести глубокие исследования физических процессов в жидкостях и твердых телах, на которые базируются современные высокие технологии, в том числе техника полупроводников, совершившая буквально на наших глазах переворот в электронике, связи, космической электронике, нанотехнологиях и пр. Она же привела к открытию квантового излучения и созданию уникальных лазерных технологий, дала блестящее объяснение явлениям электронной эмиссии, радиоактивности, сверхпроводимости, сверхтекучести, других фазовых переходов и пр. Она перевернула вверх дном не только наши представления о мире, в котором мы живем, но и способствовала невиданному взлету человеческого творчества во всех областях жизни. Хулителям и опровергателям, видимо, невдомек, что все современные достижения – от мобильного телефона и миниатюрного компьютера с интернетом – до ядерной и космической техники, были бы невозможными, если бы они не базировались на положениях и выводах современных новейших физических теорий.

И еще одно. Многие теоретические положения иногда допускают разные толкования, но в физике в связи с этим давно установилось очень важное, оправдавшее себя правило, согласно которому ближе к истине та теория, которая проще всего или, как говорят физики, красивее, и не требует затуманивания мозгов с помощью сложных и часто недоступных массовому потребителю абстрактных математических выкладок. Между тем многие, иногда

и очень серьезные ученые увлекаются формальной, абстрактной математической аранжировкой физических теорий и не замечают, насколько она в ряде случаев искажает физическую суть рассматриваемых явлений. Примерами могут служить абстрактные упражнения Вейника и его последователей в области энергодинамики или торсионно-вакуумный туман Шипова-Акимова.

Наконец, очень многие современные ученые упускают из виду, что универсальных теорий не существует и что, если, в связи с этим, та или иная подтвержденная на опыте теория не в состоянии объяснить некоторые известные факты, имеющие место при определенных условиях, то это не значит, что эта теория неверна и ее надо отбросить, и что в науке грядет очередной кризис. Это означает лишь то, что данная теория ограничена определенными условиями, за пределами которой она не действует. Ни один серьезный ученый, например, никогда не утверждал, что классическая физика неверна, что ее надо отбросить только потому, что она входит в противоречие с фактами, следующими из рассмотрения микропроцессов. Наоборот, современная физика пришла к выводу, что классическая физика лишь ограничена рамками условий, действующих в макромире и что при переходе в микромир и рассмотрении многих микропроцессов, например поведения электронов в атоме, необходимо использовать новую, квантовую теорию, из которой, кстати, классическая теория вытекает как частный случай.

Чем же, с нашей точки зрения, можно объяснить тот беспредел, который царит сегодня в науке, именующей себя часто альтернативной?

Обратим прежде всего внимание на то, что шквал разоблачений более всего характерен для русскоязычной науки, возникшей и развивавшейся на постсоветском пространстве, а также на территориях и в академических учреждениях стран, находившихся и находящихся до сих пор под влиянием коммунистической и посткоммунистических левых идеологий.

Советская диктатура поставила, как известно, науку под контроль партийных идеологов и силовых структур. Парадоксально, но новой физике, которая по сути своей свидетельствует против диалектического материализма, относительно повезло. Ей удалось избежать судьбы многих других наук, которые были разгромлены. Репрессивный сталинский режим сгноил, как известно, абсолютное большинство неугодных ему советских ученых и специалистов в ГУЛАГе. В лучшем случае они оказывались в шарашках, своеобразных лагерях, превращенных в научные лаборатории, где они под неусыпным надзором тюремщиков занимались научной работой. Физики и математики оказались, возможно, единственной группой ученых, которых режим почти не тронул. Правда, секира над ними оказалась занесенной, когда неожиданно был отправлен в ГУЛАГ Л. Ландау. К счастью, Ландау вернулся живым, а других физиков после этого случая почти не трогали. Объясняется это, скорее всего, тем, что, с одной стороны, для чиновников идеологического фронта новая физика, образно говоря, оказалась не по зубам, и их бдительность сравнительно легко усыплялась тщательно продуманной риторикой советских физиков, которые на словах клялись в своей верности диалектическому материализму, но на деле умело скрывали свои истинные взгляды и писали как бы между строк. Во-вторых, образовательная система была построена таким образом, что в ней основной упор делался на классическую физику, а о новой физике говорилось невнятно, скороговоркой так, что она оставалась непонятой и не влияла на массовое сознание. Наконец, не секрет, что физики требовались режиму для разработки современных видов оружия, в первую очередь, ядерного и лазерного.

Как ни странно, но именно с падением репрессивного режима ситуация решительно изменилась, и уже в конце прошлого столетия родился шквал мифов и разоблачений, направленных против теорий современной физики и на дискредитацию ее основоположников, абсолютизации классической физики, но в новом, непривычном и несвойственном ей сочетании с **МИСТИКОЙ**.

Другая причина постклассической ностальгии кроется в том, что представления человека об окружающем его мире соответствуют, как правило, его восприятиям, которые хорошо согласуются с представлениями классической физики. Поэтому человек в массе своей отказывается понимать далекий от него и недоступный его восприятиям мир, изучаемый новой физикой. В лучшем случае он готов его видеть в привычном для него классическом ракурсе. Те ученые, которые призывают вернуться назад, к классике, вольно или невольно становятся на уровень массового потребителя науки, отражая так или иначе его чаяния.

Наконец, большое значение имеют психологические барьеры. Если, например, ученый всю свою жизнь проработал в какой-то области классической науки и у него сложились опреде-

ленные убеждения, то ему очень нелегко с ними расстаться. И здесь играют роль не талант или степень гениальности ученого, а психологические особенности его ума. Известно, что талантливый физик лорд Томсон покончил жизнь самоубийством, так как не мог принять идеи квантовой механики. В этом же заключалась и трагедия Великого Эйнштейна, который так и не признал квантовую теорию. Впрочем, ни Томсон, ни Эйнштейн, ни многие другие теоретики не опровергали новые теории и не призывали вернуться к истокам. Они просто пытались их понять, и, не поняв, честно в этом сознавались, виня, в первую очередь себя, а не современную им науку.

Рассмотрим для примера всего одно, наиболее типичное опровержение квантовой теории, которое содержится в статье «Об основах квантовой механики» доктора технических наук уважаемого профессора Эткина В.А. Правда, Эткин в своей статье нигде напрямую не критикует квантовую теорию. Более того, он хорошо понимает, насколько тесно квантовые процессы связаны со всеми процессами, происходящими в Природе, и насколько глубоко прикладная квантовая теория вошла в нашу жизнь. Поэтому, как он сам объясняет, он видит свою цель не в том, чтобы отрицать выводы квантовой теории, а лишь в том, чтобы доказать, что все они следуют не из специфических свойств объектов микромира, а из универсальных, с его точки зрения, законов классической физики. При этом он ограничивается рассмотрением лишь некоторых, определяющих, по его мнению, квантовых явлений, полагая, однако, что их чисто классическая природа, якобы, доказанная им «...вселяет надежду, что и другие выводы квантовой механики окажутся следствием корректного обобщения классической физики на объекты микромира».

Объясняя свой выбор, он пишет: «Одной из причин, вынудившей исследователей отказаться от классической волновой теории света, являлась обнаруженные в ряде явлений (фотоэффект, фотолюминесценция, Эффект Комптона) свойства света как частицы... Другой причиной явилась невозможность согласовать существование устойчивых орбит электронов в планетарной модели атома Резерфорда с электродинамикой, согласно которой электрон, движущийся с центростремительным ускорением, должен излучать энергию и с неизбежностью упасть на ядро... Однако в настоящее время... вновь оказывается актуальным вопрос, поставленный еще академиком Вавиловым: действительно ли волновая теория оказалась беспомощной перед квантовыми законами света...»

Во-первых, непонятно, почему именно в **настоящее время** этот вопрос вновь стал актуальным? Разве современная квантовая механика (здесь речь идет о квантовой теории атома, называемой иначе квантовой механикой, а не о квантовой теории поля) испытывает какие-то серьезные трудности? Разве она не в состоянии объяснить наблюдаемые в атоме явления или может быть появились факты, которые не укладываются в эту теорию и противоречат ей? Ответа на этот вопрос Вы напрасно будете искать в исследовании профессора Эткина. Их там нет, потому что их нет вообще.

Но может быть профессор Эткин стоит на пороге открытия некой новой фундаментальной физической теории? Вовсе нет. Как следует из вышесказанного, его, как мы думаем, просто вдохновляет идея развенчания положений квантовой науки, видимо глубоко чуждой его миропониманию. Это уж как-то очень сильно напоминает идеологические компании нашего недавнего прошлого, ставившие своей целью разгром очередной науки не потому, что она не соответствовала реальности, а потому, что она, с точки зрения чиновников от идеологии, противоречила основным положениям диалектического материализма.

Впрочем, оставим в стороне не столь уж важные мотивы, заставившие профессора Эткина обратиться к данной теме, а рассмотрим его возражения против положений квантовой теории по существу. В анализируемой статье, в частности, доказывается, во-первых, что классическая планетарная модель атома Резерфорда не входит в противоречие с классической электродинамикой и не приводит к нарушению устойчивости атома, а во-вторых, что «...постулат Планка о квантовании энергии излучения... вовсе не выглядит противоречивым классической физике».

По поводу модели атома Резерфорда Эткин, например, пишет: «... равномерное круговое движение электрона нельзя назвать ускоренным, поскольку его кинетическая энергия определяется только величиной, а не направлением скорости. Последнее тем более очевидно, что процесс ускорения требует затраты определенной работы в то время как центростремительная сила F_c всегда направлена по нормали к вектору w (скорости электрона, объяснение мое) и поэтому не совершает никакой работы ускорения... ».

Сказать, что процитированное нами утверждение профессора Эткина является странным, – это значит ничего не сказать, так как оно направлено не столько против квантовой теории, сколько против всей классической механики. Дело в том, что оно, по крайней мере для рассматриваемого кругового движения электрона, одним махом отменяет механический принцип относительности Галилея, положения кинематики, первый и второй законы Ньютона, законы сохранения механики, в том числе столь любимый профессором закон сохранения энергии, принцип Даламбера да и вообще всю классическую механику.

Известно, что говоря о движении, необходимо прежде всего указать систему отсчета, относительно которой данное движение рассматривается. Так как профессором Эткиным указанное требование игнорируется, то придется эту работу выполнить за него. Исходя из условий рассматриваемой задачи движения электрона в поле центральных кулоновских сил, действующих со стороны атомного ядра, выберем в качестве системы отсчета условно неподвижное ядро атома, которую с достаточной степенью приближения можно считать инерциальной. Это значит, что согласно принципу относительности в рассматриваемой системе отсчета должны выполняться все законы механики. С другой стороны, в системе отсчета, связанной с электроном, относительно которой он неподвижен, кулоновская сила, действующая на него со стороны ядра при его равномерном движении по окружности, как справедливо указывает в своей статье и Эткин, уравнивается центробежной силой инерции (принцип Даламбера). Так как, однако, электрон, по утверждению профессора Эткина, движется без ускорения, то связанная с ним система отсчета является инерциальной. Откуда тогда, спрашивается, берется центробежная сила инерции? Ведь по классическому определению, сила инерции – это сила, возникающая только в неинерциальных системах отсчета, равная произведению массы на ускорение системы отсчета и направленная против этого ускорения. Но если центростремительное ускорение равно нулю, то равна нулю и центробежная сила. Как же тогда уравнивается электрон? Выходит, что по версии Эткина, на электрон действуют две усиливающие друг друга не равные нулю силы, направленные к центру, – кулоновская и центростремительная, – и нет ни одной уравнивающей их силы. Это значит, что электрон должен упасть на ядро даже в том случае, если он ничего не излучает. Так как электрон упрямо не падает на ядро, а вращается вокруг него, то это означает, что, согласно утверждению Эткина, принцип инерции и принцип Даламбера для вращательного движения не имеют места.

Что же касается утверждения о том, что «...круговое движение электрона нельзя назвать ускоренным, поскольку его кинетическая энергия определяется только величиной, а не направлением скорости», то оно является абсурдным, так как кинетическая энергия не зависит от направления скорости для **любого** движения, и этот непреложный факт никакого отношения к ускорению движения не имеет. Он только доказывает, что масло всегда масляное.

Утверждение же о том, что процесс ускорения требует обязательной затраты работы следует рассматривать как новое открытие профессора Эткина, в науке до сих пор неизвестное. К сожалению оно на патент не тянет, так как легко доказать его ошибочность. Действительно, согласно второму закону Ньютона, вектор ускорения \mathbf{a} тела массой m под действием силы \mathbf{F} : $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$.

Умножим обе части данного равенства скалярно на величину вектора элементарного перемещения $d\mathbf{s}$, и примем во внимание, что величина элементарной работы $\delta A = (\mathbf{F}, d\mathbf{s})$, тогда, если угол между силой и перемещением равен φ , то $(\mathbf{a}, d\mathbf{s}) = (\mathbf{F}, d\mathbf{s})/m = \delta A/m = a \cdot ds \cdot \cos\varphi$. Из полученного равенства следует, что если ускорение равно нулю, то есть в случае равномерного движения тела (как прямолинейного, так и криволинейного), работа никогда не совершается. Наоборот если, **работа не совершается (равна нулю)**, то **ускорение не обязательно равно нулю**, т. к. работа равна нулю, если перемещение, как в нашем случае, происходит перпендикулярно силе, а ускорение и перемещение при этом не равны нулю. Правда, сказанное не исключает того, что и ускорение может быть равно нулю, но при одном условии, если допустить вслед за профессором Эткиным, что второй закон Ньютона при вращательном движении почему-то не действует, и центростремительная сила появляется без всяких на то причин. Ведь согласно второму закону Ньютона, при постоянной массе единственной причиной возникновения силы является изменение скорости, то есть ускорение. Но может быть и центростремительная сила отсутствует, и на электрон действует единственная кулоновская сила притяжения? Но тогда отсутствует и вращение электрона, и он должен неотвратимо упасть на ядро.

Если ссылка на законы классической динамики покажется профессору Эткину по какой-то непонятной причине недостаточно убедительной, то для доказательства существования ненулевого (центростремительного) ускорения равномерно вращающегося по окружности электрона можно воспользоваться исключительно законами кинематики, не прибегая даже к понятию силы.

Пусть электрон движется равномерно по окружности радиуса r с угловой скоростью ω . Рассмотрим произвольное положение электрона на окружности в некоторый момент времени t . Его координаты в декартовой системе координат с началом в центре O окружности и осями координат, направленными, соответственно вертикально вверх (ось Oy) и горизонтально вправо (ось Ox) в момент времени t :

$$x = r \cdot \cos \omega t$$

$$y = r \cdot \sin \omega t.$$

Из кинематики известно, что компоненты вектора скорости движения w_x, w_y равны первым производным координат по времени, а компоненты вектора ускорения a_x, a_y – вторым производным, то есть:

$$a_x = -r\omega^2 \cos \omega t$$

$$a_y = -r\omega^2 \sin \omega t.$$

Следовательно, ускорение равно:

$$a = -r\omega^2$$

Знак минус указывает на то, что ускорение является центростремительным.

Таким образом, классический электрон, как и любое другое физическое тело, не может вращаться равномерно по окружности без ускорения. Это значит, что классическая модель атома Резерфорда не соответствует действительности, так как вращающиеся с ускорением электроны по законам классической электродинамики излучают электромагнитные волны и, теряя энергию, неизбежно должны были бы упасть на ядро. Другими словами, электроны – это не маленькие идеальные частицы, корпускулы, которые вращаются равномерно вокруг ядра по круговым орбитам в периферийной области атома.

Непротиворечивое поведение электрона внутри атома следует лишь из его квантовой модели, отражающей его корпускулярно-волновые свойства. Это поведение с высокой точностью, подтверждаемое на опыте, описывается решениями стационарного волнового уравнения Шредингера. Из этих решений, в частности, следует, что электрон – это некоторое образование, эквивалентное пакету волн, размазанному по объему атома. Он не может иметь при этом любую энергию, его энергетический спектр представлен жестко квантованными дискретными уровнями, каждому из которых чисто условно ставится в соответствие некоторая орбита. Среди всех возможных орбит электрона только одна, которой соответствует энергетический уровень с минимально возможной энергией, является устойчивой. Находясь на этой орбите, электрон не может излучать, так как в этом случае он должен был бы перейти на более низкий энергетический уровень, что невозможно, так как он находится на стационарной орбите с минимально возможной для него энергией. Все другие орбиты электрона, соответствующие более высоким энергетическим уровням, неустойчивы, а соответствующие им энергетические уровни являются уровнями возбуждения. Поглотив фотон, пришедший извне, электрон неизбежно переходит на следующий неустойчивый энергетический уровень возбуждения. В квантовой механике доказывается, что максимально возможное время пребывания электрона на уровнях возбуждения не превышает в среднем 10^{-8} с. Вслед за этим, излучив фотон, электрон возвращается на исходную орбиту. Электрон вовсе не вращается вокруг ядра. Более того, понятия движения, траектории, орбиты и пр. в квантовой механике вообще лишены какого-либо физического смысла и к ним прибегают иногда чисто условно, чтобы сделать понятными квантовые процессы земному наблюдателю, привыкшему рассматривать явления, происходящие в ощущаемом им земном макром мире.

Подчеркнем также, что полуклассические постулаты Бора, в основе которых лежит классическая модель атома Резерфорда, получили лишь частичное подтверждение в квантовой механике и только в той части, которая описывает механизм излучения и поглощения атомами квантов электромагнитного излучения, фотонов. Поэтому рассматриваемые далее профессором Эткиным процессы излучения и поглощения атомов, исходя из классической модели атома Резерфорда, не имеют никакого физического смысла и нами, в связи с этим, не анализируются. Подчеркнем только, что попытка профессора Эткина классического истолкования процессов излучения и поглощения атома путем введения солитонов в меха-

низмы излучения и поглощения также непропорциональна. Это связано с тем, что солитоны, в отличие от фотонов, являются чисто классическими объектами. На это указывает и сам Эткин, когда пишет, что «...принципиальное отличие солитона от фотона как волнового пакета с энергией $h\nu$... в том, что его энергия $E_c = kA^2$ (где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы волны), определяется не его частотой, а, как обычно, квадратом амплитуды волны...» Но именно поэтому, то есть потому, что энергия классических волн, в том числе и их дискретных порций, солитонов, определяется **квадратом амплитуды, а не частотой**, возникли неразрешимые противоречия при рассмотрении многих микропроцессов, происходящих на атомно-молекулярных уровнях. К ним, в частности, относятся также процессы теплового излучения, фотоэффекта, рассеяния, оптических излучений и пр. Все указанные противоречия удалось разрешить Планку, Эйнштейну, Бору, Де Бройлю, Шредингеру, Гейзенбергу и др. Для этого они отказались от классических представлений и ввели в рассмотрение вместо классических волн и их возможных дискретных пакетов, к которым относятся также солитоны, квантовые частицы, фотоны, с энергией, пропорциональной частоте, а вместо классического атома Резерфорда, – описанную выше квантовую модель атома, с энергией, распределенной по дискретным уровням, интервалы между которыми также пропорциональны частоте некоторой эквивалентной волны. Поэтому замечание профессора Эткина о том, что постулат Планка не противоречит классической физике, не имеет под собой никаких оснований, так как этот постулат не просто вводит, как считает Эткин, квантование энергии излучения, но определяет эту энергию через частоту, а не через квадрат амплитуды волны. Это имеет принципиально важное значение, так как именно классическая зависимость энергии волны от квадрата амплитуды приводит к недопустимой расходимости в формуле Релея-Джинса, заставившая Планка предложить свой знаменитый постулат. Кроме того, с точки зрения появившейся только через четверть века квантовой механики не имеют самостоятельного значения ни постулат Планка, ни постулаты Бора. Они были всего лишь гениальной догадкой того, что тривиальным образом, но неотвратимо вытекало из будущей теории, в основание которой лежит следующий из природы вещей более общий и более фундаментальный принцип о корпускулярно-волновом дуализме. Проведенный нами анализ, показывает, что попытки реанимации классической физики с целью ее использования для описания квантовых процессов, глубоко ошибочны и абсолютно, как мы считаем, беспредметны.

Уважаемые коллеги!

В подтверждение того, что я не уклоняюсь от дискуссии (хотя она отнимает время у полезной работы) прилагаю ответ на критическую заметку Л. Прейгермана с тем, чтобы он мог быть размещен одновременно с самой заметкой, если она будет опубликована в материалах Независимой академии или на сайте ДУХа.

Проф. В.Эткин

ОТВЕТ НА ЗАМЕТКУ Л. ПРЕЙГЕРМАНА

«ПО ПОВОДУ ОДНОГО ОПРОВЕРЖЕНИЯ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ»

Уже сам заголовок статьи дезинформирует читателя, поскольку далее в заметке (на стр.2) оппонент признается, что в статье «Об основах квантовой механики» д.т.н. В.Эткин «видит свою цель не в том, чтобы отрицать выводы квантовой теории, а лишь в том, чтобы доказать, что все они следуют не из специфических свойств объектов микромира, а из универсальных, с его точки зрения, законов классической физики».

Решительно отрицая саму мысль о том, что «профессор Эткин стоит на пороге открытия некой новой фундаментальной физической теории», автор делает вид, что не знаком с монографиями автора «Термокинетика» (1999), рекомендованной Минобразования РФ в качестве учебного пособия для вузов, и монографии «Энергодинамика» (2008), вышедшей на русском и английском языках и удостоенной медали Лейбница Европейской академии естественных наук. Во всяком случае, утверждая, что проф. В.Эткин «одним махом отменяет механический принцип относительности Галилея, положения кинематики, первый и второй законы Ньютона, законы сохранения механики, в том числе столь любимый профессором закон сохранения энергии, принцип Даламбера да и вообще всю классическую механику»,

автор заметки обнаруживает полное пренебрежение к этим и другим книгам и статьям автора, где все эти законы выводятся как логико-математические следствия его теории. Возникает вполне резонный вопрос, в чем же тогда видит оппонент «наиболее типичное опровержение квантовой теории»? Ведь в критикуемой им статье недвусмысленно указывается (со ссылкой на публикации), что предпринятый автором подход позволил «дать классическое обоснование всех закономерностей фотоэффекта, дать термодинамический вывод основного уравнения квантовой механики и получить поддающиеся экспериментальной проверке выражение для спектральных серий Бальмера, Лаймана, Пашена ...дать классическое объяснение квантовой природы процесса излучения, ... и рассчитать параметры орбиты электрона».

Как выясняется из дальнейшего, оппонент сосредотачивает свои усилия на опровержении утверждения автора критикуемой статьи о том, что «процесс ускорения требует обязательной затраты работы». Подводя под свое опровержение «математическую базу», автор приводит выкладки, касающиеся центростремительного ускорения, которое не сопровождается изменением кинетической энергии и потому не требует затраты работы. При этом он полностью игнорирует ту часть статьи, из контекста которой следует необходимость «различать процесс ускорения (или торможения) тел, состоящий в данном случае в изменении кинетической энергии электронов $E_k = m_e w^2/2$ (где w , m_e – их скорость и масса), и процесс их переориентации, состоящий в изменении направления вектора скорости \mathbf{w} при постоянстве ее модуля w (и кинетической энергии E_k). Это означает, что модуль скорости электрона $w = |\mathbf{w}|$ и единичный вектор \mathbf{e} , характеризующий направление вектора скорости $\mathbf{w} = w \mathbf{e}$, являются координатами двух независимых процессов - ускорения и переориентации. С этих позиций равномерное круговое движение электронов нельзя называть ускоренным, поскольку его кинетическая энергия определяется только величиной, а не направлением скорости. Последнее тем более очевидно, что процесс ускорения требует затраты определенной работы, в то время как центростремительная сила \mathbf{F}_c всегда направлена по нормали к вектору \mathbf{w} и потому не совершает никакой работы ускорения. Поэтому следует скорее признать неудачным введение в механику термина «центростремительное ускорение», нежели считать противоречащим электродинамике безизлучательное движение электронов по круговой орбите. Напротив, противоречащей физике следует считать противоположную точку зрения, поскольку при равномерном вращении электрона его кинетическая и полная энергия остаются неизменными. В таком случае излучение электрона противоречило бы закону сохранения энергии, а также оригинальным уравнениям Максвелла, которые могут быть выведены термодинамическим путем именно исходя из этого закона». Таким образом, оппонент «не замечает», что в статье речь идет об ускорении поступательного движения.

Создается впечатление, что длинный (в несколько страниц печатного текста) пассаж оппонента в духе пресловутой комиссии РАН по борьбе с лженаукой, использующей административный ресурс для борьбы с инакомыслием в науке, нацелен не на защиту чистоты отечественной науки, а на сведение каких-то счетов с автором статьи. Об этом недвусмысленно говорит сам тон заметки, поразительно напоминающий приемы советской прессы в борьбе с врагами народа. Характерно и упорное молчание оппонента на посланный ему электронный вариант «Энергодинамики» с предложением обменяться нашими книгами, и игнорирование возможности подробнее ознакомиться с позицией автора по книге или при личной встрече. В таком случае научная дискуссия переходит в область этики.

Проф. В.Эткин

Добрый день!

В порядке завершения с моей стороны дискуссии по статье проф. Эткина, от которой, кроме Марка Микитинского, все, к сожалению, устранились, высылаю свой ответ В.Эткину для публикации на сайте ДУ. Если в течение этой недели больше не поступит материалов, мы также опубликуем все наличные материалы дискуссии на сайте нашей Академии с уважением, Лев.

Доктор Лев Прейгерман.

ТОЧКА В ДИСКУССИИ

Давно замечено, что если человек не знает, как ответить оппоненту на его критические замечания, то он подменяет аргументацию своей позиции обвинениями оппонента в необъективности, сведении личных счетов и пр. Я, разумеется, не стану отвечать на эти по-детски смешные обвинения Эткина в свой адрес. Да, я во многом с ним не согласен, и он также во многом не согласен со мной, но научные споры не повод для личных выпадов, которых нет и в помине в моих заметках, но зато в изобилии присутствуют в ответе Эткина. Недовольство Эткина вызвало, в частности, то, что я в своих заметках называю вещи своими именами. Так, например, он считает крайним проявлением пренебрежения мои не опровергнутые им доказательства того, что многие его утверждения противоречат не только квантовой, но и классической, то есть, ньютоновской механике. «Автор заметки, – пишет он, обнаруживает полное пренебрежение... к (моим, вставка моя) книгам и статьям, ...где все эти законы (законы классической механики, замечание мое) выводятся как логико-математические следствия... теории (энергодинамики, вставка моя)». Это, конечно, очень странно, но факт остается фактом. Соглашаясь с законами ньютоновской механики в одном месте, он их опровергает в другом.

В то же время Эткин в своем ответе не привел ни одного аргументированного доказательства *своих*, повторяю, весьма странных идей, и не отверг ни одного из приведенных мною доказательств их несостоятельности. Он просто слово в слово повторил ничего не доказывающие рассуждения своей статьи. Дескать, что там доказывать? Все настолько очевидно, что объяснять тут нечего. Ой ли? Не знаю, как кому (все, кроме М. Микитинского, предпочли отмолчаться), а вот мне, глупому, по-прежнему ничего не понятно.

Эткин, в частности, ссылается на принцип предложенной им классификации термодинамических процессов по их последствиям, в соответствии с которым каждый такой процесс является независимым и вызывает особые феноменологически отличимые и несводимые к другим изменения состояний объекта или исследования. При этом «число независимых переменных, определяющих состояние и энергию системы, равно числу независимых процессов в ней». Распространяя в соответствии с дедуктивными подходами энергодинамики указанный принцип на движение электронов внутри атома, Эткин далее пишет, что «следует различать процесс ускорения (или торможения), состоящий в данном случае из изменения кинетической энергии электронов..., и процесс их переориентации, состоящий в изменении вектора скорости...при постоянстве ее модуля...(и кинетической энергии). ...» Отсюда им делается концептуальный вывод, что равномерное круговое движение электрона с указанных позиций нельзя назвать ускоренным, а сам электрон излучающим, поскольку его кинетическая энергия на орбите его движения не меняется. В результате, как я уже указывал в своих замечаниях, Эткин входит в противоречие с ньютоновской классической механикой. Мои аргументы в этой части он доказательно не оспорил, значит, он с ними согласен. С другой стороны, Эткин утверждает, что вся классическая механика выведена им из энергодинамики, как частный случай. **Так где же истина?**

Со своей стороны могу сказать, что ни введенный Эткиным новый принцип классификации термодинамических процессов, ни сама дедуктивная методология энергодинамики, как метода исследования физических процессов, с определенными оговорками не вызывают у меня сомнений. Более того, я сам сторонник дедуктивного подхода. Так в чем же дело? А дело в элементарной ошибке, допущенной Эткиным, которая, на мой взгляд, вытекает из его желания все и вся переделать, все переформулировать по-своему. Точно так же, как он ошибочно, как мною было показано, ввел в рассмотрение не существующее в Природе понятие «**работы ускорения**», так и здесь он дает свое новое, **отличное от ньютоновского**, определение ускорения, как процесса, состоящего из **изменения кинетической энергии**, не замечая, что это определение верно лишь при поступательном движении, а при движении по окружности, оно может служить лишь как определение одной из двух независимых компонент ускорения, то есть не ускорения в целом, а лишь его части. Вращение по окружности можно действительно рассматривать как совокупность двух независимых процессов, **но первый из них**, который связан с изменением кинетической энергии, – это **не весь процесс ускорения (торможения)**, как пишет Эткин, а лишь часть ускорения этого процесса, выражаемого независимой, азимутальной (угловой) компонентой ускорения (одной из двух компонент вектора ускорения)

$$a_{\varphi} = rd^2\varphi/dt^2 + 2(dr/dt)\cdot(d\varphi/dt)$$

При равномерном движении по окружности указанная часть вектора ускорения действительно равна нулю.

Второй процесс, переориентации, выражается второй независимой, радиальной, компонентой ускорения

$$a_r = d^2r/dt^2 - r(d\phi/dt)^2,$$

не равной нулю при равномерном движении электрона по окружности.

В результате, абсолютная величина вектора ускорения a , которая характеризует процесс равномерного вращения электрона по окружности в целом, равна корню квадратному из суммы квадратов обеих компонент, то есть:

$$a = -r\omega^2.$$

Это и есть то самое ньютоновское центростремительное ускорение, которое в классической электродинамике входит в формулы для энергии E излучения электромагнитных волн ускоренным электроном с зарядом e :

$$E_{\text{изл}} = 2e^2a^2/3c^2$$

Энергия этого излучения в случае, когда электрон совершает гармонические колебания или равномерно вращается на орбите радиусом r :

$$E_{\text{изл}} = 2e^2r^2\omega^4/3c^2$$

Это излучение является непрерывным и вовсе не противоречит закону сохранения энергии, как утверждает Эткин, так как, теряя энергию, электрон не остается на орбите вращения, а переходит на все более близкие к ядру орбиты, характеризующиеся все более низкой энергией.

Интересно также отметить, что полученная из чисто классических соображений формула излучения электрона близка по форме формуле для излучения, полученной в квантовой механике в нерелятивистском приближении. Разница заключается лишь в том, что входящий в формулу квантовой механики дипольный момент вместо эквивалентной ему в классической формуле величины er не является постоянной величиной, а квантуется в зависимости от соотношения квантовых чисел на каждом данном энергетическом уровне, отделяя тем самым стационарные и запрещенные уровни, где дипольный момент равен нулю, от уровней возбуждения с ненулевым дипольным моментом. Такое совпадение не является случайным, а соответствует общеизвестному в квантовой механике принципу **соответствия**. Суть этого принципа заключается в том, что корпускулярно-волновой дуализм проявляется тем в большей степени, чем на более глубоких уровнях внутри атома происходят рассматриваемые процессы. Поэтому нерелятивистские процессы, происходящие на верхних, периферийных уровнях атома, в том числе процессы излучения, электропроводности металлов, процессы ионизации атомов, ряд химических процессов и пр., где квантовые эффекты еще сравнительно невелики, могут быть с определенным приближением описаны, исходя из классических моделей с последующим учетом с помощью квантования сравнительно небольших квантовых эффектов. На этом принципе основаны широко используемые в квантовой механике полуклассические методы решения многих задач, в том числе, кстати, и расчетов орбит. Но во-первых, эти методы приближенные и имеют ограниченное применение. Они, например, совершенно неприменимы для описания и расчетов процессов лазерного излучения, сверхпроводимости, электропроводности полупроводников, радиоактивных излучений и других внутриядерных процессов, многочисленных процессов, связанных с туннельным эффектом, процессов элементарных взаимодействий, аннигиляции и рождения частиц в вакууме и пр. Принцип соответствия, во-вторых, не имеет концептуального характера. Из того факта, например, что орбиты электрона поддаются согласно принципу соответствия расчету, исходя из классических моделей, вовсе не следует, как считает Эткин, что классические модели могут собою подменить квантовые. Что же касается утверждения Эткина, что ему удалось построить классическую теорию фотоэффекта, явления теплового излучения и пр, то оно, как было мною показано в моих заметках, является ошибочным. Впрочем, если бы Эткин действительно добился такого эпохального результата, то он давно уже был бы нобелевским лауреатом и вряд ли сидел бы, как говорится, с нами за одной партией.

На этом можно поставить точку в нашей дискуссии.

Литература.

1. Большой энциклопедический словарь. Физика. Гл. редактор А.М.Прохоров. Научное издательство. М., 1999.

2. Лев Прейгерман. Марк Брук. Курс физики. Т.1, Т.2. Мысль. И., 2010.

ТОЧКА С ЗАПЯТОЙ.

Такую "дискуссию" лучше и не начинать. Ибо желающий помогать - помогает, желающий понять - спрашивает, а желающий опровергать - пишет опровержение.

В.Э.